

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана

УДК 621715.055:669.782.063.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
гл. н.с.	Тарасов С.Ю.	Д.Т.Н. профессор ОМ		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБПИ	Кашук И.В.	К.Т.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные знания при разработке наукоемких технологий изготовления и обработки новых материалов и изделий из них для аэрокосмической техники.
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач.
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий РКТ, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов в аэрокосмической техники.
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для изделий РКТ, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке, с подготовкой и анализом технической документации.
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> , <i>расчеты на прочность</i> в области современных технологий обработки материалов, производства узлов, деталей и конструкций в РКТ.
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современное высокотехнологичное производство, обеспечивать его <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания <i>по проектному менеджменту</i> для внедрения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.
P10	Демонстрировать <i>глубокие</i> знания <i>социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ9К	Индоиту Даниле Витальевичу

Тема работы:

Модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.04.2021, № 112-21/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом магистерской диссертации являются сплавы АК9, АК12. Данные сплавы подвергались обработке трением с перемешиванием, в сплав АК12 дополнительно вводились частицы порошков титана при обработке.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Изучить литературу по темам: силумины, сварка трением с перемешиванием, обработка трением с перемешиванием, модификация поверхностного слоя материала. Произвести модифицирование приповерхностной структуры данных сплавов. Исследовать влияние типа инструмента, количества проходов, режимов обработки на структурные и механические характеристики.

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)		
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.	
Социальная ответственность	Скачкова Л.А.	
Разделы, выполненные на иностранном языке		
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич		

## РЕФЕРАТ

Работа включает в себя 115 страниц, 32 таблицы, 43 рисунка, 5 глав, приложение А (на английском языке), 44 литературных источника.

Ключевые слова: фрикционная перемешивающая обработка (FSP); микроструктура; сплав АК9, АК12; структура зоны обработки; улучшение свойств сплава; пластическая деформация.

Объектом исследования является технологический процесс фрикционной перемешивающей обработки сплавов АК9, АК12.

Цель работы - модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана.

В ходе работы производилось исследование структуры полученных зон обработки. В ходе исследования рассматривались сварные швы двух сплавов АК9 и АК12, при различных режимах обработки (изменялось: количество проходов инструмента, тип инструмента, режимы обработки) а так же при внедрении в сварной шов порошков титана в различном процентном соотношении (от 0,5 до 5 %). Исследование производилось при помощи металлографического микроскопа и универсальной разрывной машины.

**Обозначения, сокращения,  
нормативные ссылки.**

FSP - friction stir processing (фрикционная перемешивающая обработка);

FSW - friction stir welding (сварка трением с перемешиванием);

TMAZ – thermomechanical affected zone (зона термомеханического влияния);

SZ – stir zone (зона перемешивания);

AS – advancing side (наступающая сторона);

RS – retreating side (отступающая сторона);

НИР – научно-исследовательская разработка;

ГОСТ 1583-93 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Сплавы  
алюминиевые литейные Технические условия;

ГОСТ 1497-84 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ МЕТАЛЛЫ  
Методы испытаний на растяжение;

## Оглавление

Введение	10
Цель работы	12
Литературный обзор	13
1. Общие сведения о фрикционной перемешивающей обработке	15
1.1 Понятие о фрикционной перемешивающей обработке	15
1.2 Область применения	18
1.3 Обрабатываемые материалы	20
1.4 Методы модификации структуры	20
1.4.1 Традиционные методы модифицирования силуминов	21
1.4.2 Методы, основанные на использовании концентрированных потоков энергии	25
1.5 Преимущества и недостатки метода фрикционной перемешивающей обработки	30
2. Методика исследований	31
2.1 Исследуемый материал	31
2.2 Применяемое оборудование	33
2.3 Подготовка образцов	37
2.4 Режимы обработки	40
2.5 Исследование структурных характеристик зоны перемешивания	43
2.6 Исследования механических характеристик полученных образцов	56
3. Обсуждение результатов исследований	62
3.1 Обсуждение результатов исследования структурных характеристик	62
3.2 Обсуждение результатов исследования механических свойств	63
Заключение	64
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	68
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	70
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	70
4.1.3 SWOT-анализ	72
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	77
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	77
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	78
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	79
4.3 Бюджет научного исследования	83
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	84
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	84
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	86
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	87
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	88
4.3.6 Накладные расходы	88
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР	89
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	90
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	90
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	91
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	92
Заключение по разделу финансовый менеджмент	93



5. Социальная ответственность	94
Введение	97
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	98
5.2 Профессиональная социальная безопасность	99
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве	101
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	103
5.2.2.1 Анализ освещенности рабочей зоны	104
5.3 Экологическая безопасность	107
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	107
Заключение по разделу социальная ответственность	109
Список публикаций	110
Список использованных источников	111
Приложение А	116

## Введение

Одной из проблем авиационной и ракетно-космической отрасли, производящей всевозможные машины и оборудование, орудия, приборы, а также предметы потребления и продукцию оборонного назначения является необходимость в повышении эксплуатационных свойств и снижении массогабаритных характеристик готовых изделий.

Одним из важнейших показателей, определяющих спрос на проектируемый объект, является его эксплуатационные характеристики. Важнейшей характеристикой изделия практически любого типа является его работоспособность и надежность, которые обеспечиваются за счет выполнения следующих основных требований: прочности, жесткости и стойкости к различным воздействиям (износу, вибрации, стойкости к воздействию окружающей среды и др.). Чтобы увеличить срок службы изделий необходимо увеличить прочность, жесткость деталей и износостойкость.

Обеспечение требований прочности при статическом, циклическом и ударном нагружениях должно исключать возможность разрушения, а также возникновения недопустимых остаточных деформаций. Требования жесткости к детали или контактной поверхности сводятся к ограничению возникающих под действием нагрузок деформаций, нарушающих работоспособность изделия, к недоступности потери общей устойчивости для длинных деталей, подвергающихся сжатию, и местной – у тонких элементов. Должна обеспечиваться износостойкость детали, которая существенно влияет на долговечность работы механизма. Достаточно, чтобы для каждой детали выполнялись не все перечисленные выше требования, а лишь те, которые связаны с ее эксплуатацией. Детали, испытывающие максимальные напряжения на поверхности (изгиб, контактные напряжения), для повышения сопротивления усталости подвергают поверхностному упрочнению.

Существуют следующие методы поверхностного упрочнения:

- Механические методы поверхностного упрочнения деталей машин;
- Методы лазерного, электронно-лучевого, детонационного и плазменного упрочнения деталей машин;
- Химико-термическая обработка;
- Метод равноканального углового прессования;
- Поверхностная закалка стали и др.

Целью данной работы является модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана, для создания в приповерхностной структуре алюминидов титана.

## **Цель работы**

Целью данной исследовательской работы является:

Проведение предварительных исследований формирования структуры алюминиево-кремниевых сплавов АК9 и АК12, подвергнутых многопроходной обработке трением с перемешиванием.

Получение композитных материалов на базе алюминиевого сплава АК12, путем внедрения порошков титана, с целью получения алюминидов титана в приповерхностной структуре.

Исследование влияния параметров фрикционной перемешивающей обработки (FSP) на механические и структурные характеристики зоны обработки.

Поставленные цели достигаются решением следующих задач:

- 1) произвести оценку влияния технологических параметров режимов FSP на изменение структуры материала;
- 2) произвести оценку внедрения порошков титана в зону обработки FSP;
- 3) произвести оценку структурных изменений в зоне обработки;
- 4) произвести оценку изменений механических характеристик в зоне обработки.

## Литературный обзор

Алюминиевые сплавы широко применяются во многих отраслях промышленности из-за уникальных физико-химических параметров, таких как: небольшая плотность; относительно малый вес; высокая коррозионная стойкость, электро и теплопроводность; прочность; ряд сплавов имеют высокую жидкотекучесть; легко подвергаются обработке.

Данная категория включает алюминиевые сплавы для литья, используемые в различных сферах. Для этих сплавов характерно содержание кремния от 7% до 14%, и они имеют хорошую жидкотекучесть, средние механические характеристики и высокую коррозионную стойкость. Добавление небольшого количества магния в сплав для улучшения термообработки приводит к ухудшению его антикоррозионных свойств.

Для улучшения определенных свойств алюминиевые сплавы подвергают модификации в жидком и твердом состоянии. Модификация в жидком состоянии производится путем введения легирующих элементов в алюминиевый расплав. Наиболее распространено легирование алюминия: медью, марганцем, магнием, кремнием и цинком; реже используются: титан, литий, бериллий, цирконий.

Модификация в твердом состоянии заключается в: упрочнении за счет выделения вторичной фазы (закалка, старение, отжиг); деформационным упрочнением (холодная прокатка); а так же различными методами аддитивных технологий (различные методы обработки и осаждения на поверхности покрытий из жидкой или газовой фазы). Перспективным методом поверхностного упрочнения является фрикционная перемешивающая обработка.

Фрикционная перемешивающая обработка алюминиевых сплавов используется длительное время для упрочнения и модификации структуры с целью повышения механических и эксплуатационных характеристик готовых изделий [1-3]. Фрикционной перемешивающей обработкой возможно модифицировать структуру магниевых, алюминиевых, медных, титановых

сплавов, сталей, высокоэнтропийных сплавов и др. Потенциально данный вид обработки имеет широкие перспективы для формирования износостойких поверхностных структур и получения легких деталей триботехнического назначения. Одними из наиболее предпочтительных для использования в качестве материалов трибологического назначения в таком случае являются литейные алюминий-кремниевые сплавы, по которым в настоящее время есть ряд исследований в области фрикционной перемешивающей обработки [4,5].

Обработка трением с перемешиванием (Friction stir processing – FSP) – это технология обработки металлов, основанная на основных принципах сварки трением с перемешиванием (FSW). FSP применяется для: поверхностной или объемной обработки металлических материалов. В процессе обработки используется жаропрочный стальной инструмент различной конфигурации. Данный способ нашел наиболее распространенное применение в локальном изменении микроструктуры в тонких поверхностных слоях, для улучшения различных свойств. Доказано, что данный метод обработки высоко эффективен для значительного улучшения микроструктуры, уплотнения и однородности обрабатываемой зоны, а так же в процессе обработки происходит устранение дефектов других производственных процессов (например устраняются, поры полученные в процессе литья). В процессе обработки так же изменяются механические свойства (твердость, прочность на разрыв, усталость, коррозионная стойкость и износостойкость). Доказано, что однородная равноосная структура получаемая при данном процессе обработки влияет на сверхпластичное поведение материалов [6,7].

## **1. Общие сведения о фрикционной перемешивающей обработке**

### **1.1 Понятие о фрикционной перемешивающей обработке**

Фрикционная перемешивающая обработка (FSP) – это твердотельный одно- и многостадийный метод обработки, который обеспечивает измельчение зерна, упрочнение и структурную однородность без изменения формы и размера обрабатываемого металлического материала. Данный метод обработки является относительно новым и основан на физических принципах сварки трением с перемешиванием (FSW) [2]. Наиболее выраженное отличие FSP заключается в том, что обработка является способом локального изменения микроструктуры материала для того, чтобы достичь желаемых специфических свойств (например: высокая пластичность или прочность), в то время, как FSW применяется только для получения соединений деталей. Данный вид обработки имеет ряд преимуществ перед другими методами обработки поверхности металлических материалов:

- Отсутствие необходимости последующей термической обработки обработанного металла;
- Простота технологического оборудования;
- Данный метод является экологически чистым и энергоэффективным. За последнее время данный вид обработки претерпел значительные изменения и нашел множество практических и научных применений [1];
- За счет изменения параметров процесса обработки можно легко контролировать механические свойства и микроструктуру обрабатываемых поверхностей [1].

Как было ранее упомянуто метод фрикционной перемешивающей обработки (FSP) произошел от метода сварки трением с перемешиванием (FSW), он включает в себя аналогичные процессы и принципы [1, 8]. Обработка производится не расходуемым инструментом имеющим плечи и пин разнообразной формы (см. рис. 1). Инструмент вращаясь с высокой скоростью, внедряется в заготовку до тех пор, пока плечи инструмента не

коснется обрабатываемой поверхности (усилие внедрения может достигать несколько тонн). Инструмент вращается в заготовке, в результате трения выделяется большое количество тепла, которого хватает чтобы материал начал размягчаться, но не плавиться. Затем инструмент начинает движение в направлении обработки в результате чего размягченный материал подвергается пластической деформации, увлекаемой вращающимся и перемещающимся пином. В этом заключается основной принцип модификации металлических материалов методом FSP, он приводит к образованию подповерхностной градиентной структуры в материале за счет измельчения зерна и гомогенизации микроструктуры. Так же нашли применение методы обработки включающие дополнительные процессы, такие как: применение многопроходной обработки для упрочнения всей поверхности (рис. 2 а) [9] или применение ультразвука к зоне обработки (рис. 2 б) [10].

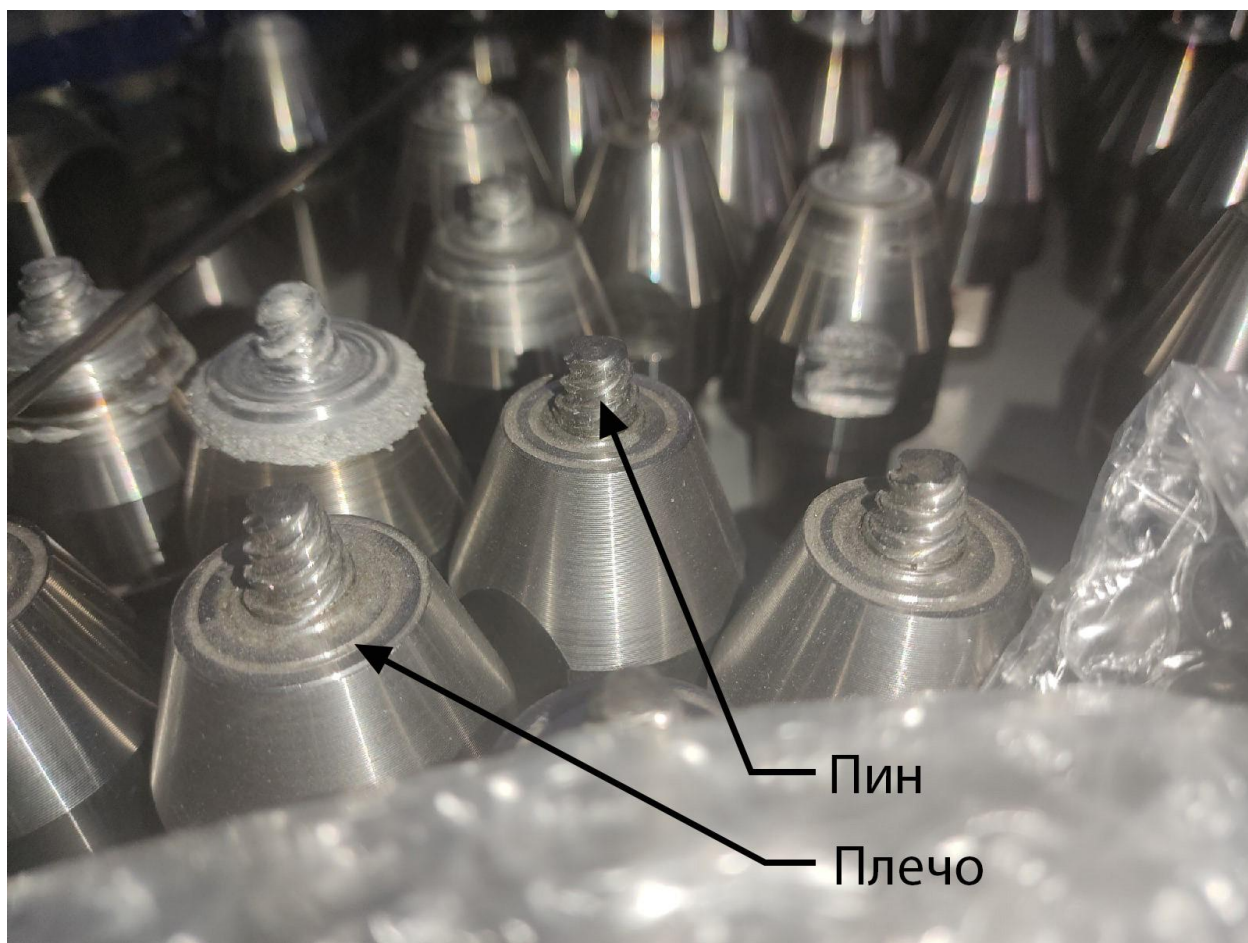


Рисунок 1 – применяемый инструмент



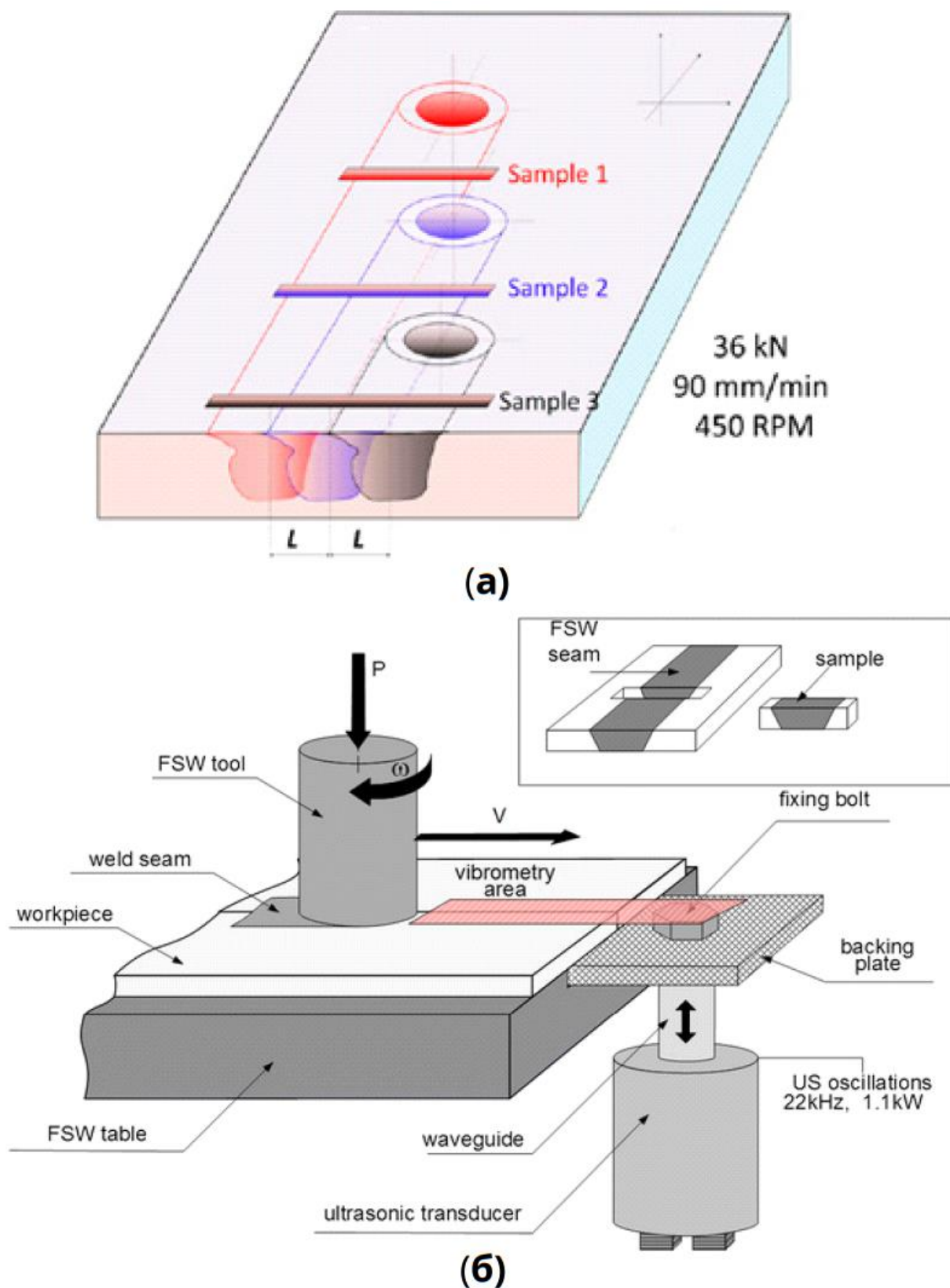


Рисунок 2 – Схематическое изображение процесса FSP:

- а) многопроходная обработка (воспроизведен из [9]);
- б) процесс сварки трением с применением ультразвука (воспроизведен из [10]).

## 1.2 Область применения

Фрикционная перемешивающая обработка применяется для модификации поверхностной структуры материала (происходит измельчение размера зерна материала) за счет термомеханического воздействия. При измельчении зерна происходит улучшение механических характеристик, за счет изменения параметров обработки улучшаются следующие характеристики:

- увеличивается пластичность;
- трибологические характеристики;
- прочность, твердость и т.д.

Данный метод поверхностного упрочнения узко применим на производстве, так как данный метод относительно новый. В настоящее время существует ряд научно-исследовательских работ посвященных модификации поверхностного слоя методами FSP, из них можно выделить три основных метода (табл. 1).

С помощью таких методик возможно получение композитных материалов с металлической матрицей различного состава. При этом в основе методов получения материала с разнородной структурой лежит процесс адгезионного трения, включающий в себя процесс пластической деформации и фрагментации материала в зоне трения с образованием вязкого течения материала. При этом при условии наличия в поверхностном слое двух материалов с различными физико-механическими свойствами в процессе образования различных потоков материала и их интенсивного взаимодействия в стесненных условиях происходит образование сложной смеси входящих в реакцию компонентов системы и результатов их взаимодействия в виде твердых растворов или интерметаллидных фаз.

Данная технология перспективна для дальнейшего внедрения в следующие области промышленности: автомобилестроение, приборостроение, авиационную и ракетно-космическую отрасль.

Таблица 1 – Основные типы FSP

	Типы модификации		
	1 тип	2 тип	3 тип
Принцип	Упрочнение поверхностного слоя материала посредством измельчения зерен с образованием ультрамелкодисперсной структуры	Упрочнение поверхностного слоя путем замешивания в поверхность различных дисперсных частиц, приводящих к измельчению структуры и повышению эксплуатационных характеристик изделия путем заполнения канавок с проходом инструмента вдоль канавки	Получение фрикционной перемешивающей обработкой смеси фаз в поверхностном слое, например, путем внедрения меди в поверхностный слой алюминиевого сплава с помощью порошков или внедряемых элементов
Отличительная особенность	Преобладают полностью рекристаллизованные равноосные зерна аналогично со сваркой трением с перемешиванием	Механические свойства полученных материалов в испытаниях на растяжение увеличиваются в зависимости от сплава как на незначительную величину менее 10...15 %, так и на величину более чем 30 %, при этом происходит достаточно существенное увеличение пластичности	Для замешивания в поверхностный слой упрочняющих частиц используется как порошковый материал, засыпаемый в углубления в поверхностном слое, так и различные цилиндрические элементы, внедренные в поверхностный слой, а также листовой материал

### **1.3 Обработываемые материалы**

Фрикционная перемешивающая обработка производится в твердой фазе, процесс может использоваться для широкого спектра материалов:

- Конструкционные сплавы;
- Алюминиевые сплавы;
- Медные сплавы;
- Титановые сплавы;
- Магниевого сплавы;

FSP наиболее подходит для обработки цветных металлов с низкой температурой плавления, таких как алюминий и магний. Так как процесс обработки ведется при температурах  $0,6 \div 0,8$  от температуры плавления обрабатываемого материала.

### **1.4 Методы модификации структуры**

#### **и свойств алюминия и сплавов на его основе**

Модифицированием называется введение в расплавленные металлы и сплавы модификаторов, небольшие количества которых резко влияют на кристаллизацию, например, вызывают округление или измельчение структурных составляющих без изменения их распределения [11].

Различают два рода модификаторов (по М.В. Мальцеву): I род – модифицирование тугоплавкими частицами (инокуляция); II род – модифицирование поверхностно-активными элементами (лимитация). В первом случае используют правило Данкова-Конобеевского (принцип размерно-структурного соответствия) и электронную теорию Ламихова-Самсонова (акцептирующий критерий  $1/Nn$ ). К модификаторам алюминия 1го рода относят Ti, Zr, V, TiC, TiB<sub>2</sub> и др.; к модификаторам алюминия 2-го рода – B, Sr, Sb, Ba и др. [12].

На данный момент существует большое количество публикаций, посвященных модифицированию литейных алюминиевых сплавов в расплавленном состоянии. Рассмотрим некоторые из них:

### 1.4.1 Традиционные методы модифицирования силуминов

Одним из самых старых и надежных методов изменения структуры и свойств металлов является легирование добавками, улучшающими твердость, износостойкость, жаростойкость.

Основные цели легирования:

- Достижение мелкозернистой структуры;
- Достижение специальных свойств (коррозионная стойкость, жаростойкость и т.п.);
- Улучшение технологических свойств (жидкотекучесть, обрабатываемость).

Для улучшения свойств легирующие элементы должны образовывать твердые растворы. Именно по этому принципу и легированы промышленные сплавы. К наиболее популярным добавкам в алюминий можно отнести переходные металлы.

Еще на начальном этапе развития алюминиевых сплавов было замечено, что добавление десятых долей титана в состав алюминия резко измельчает зерно. Этот эффект в дальнейшем получил название модифицирование. М.В. Мальцев модифицированием называл: «...процесс искусственного изменения литого металла или сплава под воздействием небольших количеств специально вводимых добавок...» [13]. Установлено, что деформирование слитка тем труднее, чем крупнее его структура. Слитки с мелкой структурой не дают трещин [14]. Известно, что увеличение концентрации легирующих элементов выше определенной величины не приводит к дальнейшему улучшению прочностных свойств, но может их снижать, вследствие укрупнения частиц химических соединений и их коагуляции [15].

Термическая обработка является самым распространенным методом управления свойствами металлов. Любая термообработка состоит из трех этапов: нагрев, выдержка и охлаждение. Решающую роль играет скорость охлаждения.

В некоторых сплавах, которые подвергались термообработке, фиксируются состояния пересыщенного твердого раствора. При этом основное упрочнение происходит не сразу, а после повторного нагрева или выдержки при комнатной температуре. В результате твердый раствор распадается и образуются дисперсные частицы. Такой процесс называется дисперсионным старением, термообработку, приводящую к таким эффектам, искусственной, если происходит при повышенных температурах, и естественной, если процесс протекает при комнатной температуре.

Введение добавок для получения более равновесной структуры с повышенными характеристиками можно применять при зонном старении [16]. В этом случае происходит соединение малых частиц элементов, введенных в алюминий, которые выделяются внутри зерен сплава. Старение может протекать при комнатной температуре или для ускорения процесса при температуре около 200 °С.

Основные виды термической обработки алюминиевых сплавов приведены в таблице 2. Эти виды обработки приводят к увеличению прочности, пластичности и стабилизируют геометрические размеры материала. Но существуют и не упрочняемые сплавы. К их числу относятся деформируемые сплавы алюминия с марганцем и магнием (АМц, АМг6).

Не исключены возникновения браков при обработке: недогрев не позволяет снять напряжения, закончить перераспределение частиц в металле, перегрев приводит к интенсивному росту зерен, что влечет за собой ухудшение всех механических характеристик, образование трещин, коробление, поводка, пятнистая закалка [17].

Метод интенсивной пластической деформации позволяет получить повышенные механические и физические свойства. Равноканальное угловое прессование является одним из таких основных методов реализации деформации материала, приводимых к измельчению структуры [18].

Таблица 2 - Основные виды термической обработки  
алюминиевых сплавов [19]

Термическая обработка	Назначение	Примечание
Искусственное старение	Для улучшения обрабатываемости резанием; повышение прочности	При литье в сырую песчаную форму наблюдается некоторая подкалка, которая улучшает эффект старения
Отжиг	Для уменьшения остаточных литейных напряжений, устранения наклепа, повышения пластичность	Температура и время определяются назначением детали
Закалка	Для повышения прочности	Техника соответствует закалке и естественному старению
Закалка и неполное старение	Для повышения прочности и сохранения пластичности	Температура и время не обеспечивают полного старения
Закалка и полное старение	Для получения максимальной прочности с небольшим снижением пластичности	Время и температура выше, чем при неполном старении
Закалка и стабилизирующее старение	Для получения достаточной прочности и стабилизации геометрических форм	Старение рекомендуется производить при температурах близких к рабочим
Закалка и смягчающий отпуск	Повышение стабильности, и стабилизация геометрических размеров	Самая высокая температура старения

Исходными заготовками в методе равноканального углового прессования служат образцы с круглым или квадратным поперечным сечением. Диаметр или диагональ должна быть равна 20 мм. Максимальные диаметры заготовок, обработанные этим методом: для титана 40 мм, для алюминия 90 мм, 150 мм для молибдена; длина образцов была от 70 до 100 мм. Чтобы достичь требуемый уровень деформации образец многократно продавливается в специальной оснастке через два канала с одинаковым поперечным сечением, пересекающимися обычно под углом 90°. При необходимости угол можно увеличить, как показано на рисунке 4. В среднем величина скорости продавливания равна 60 мм/мин, один проход, в среднем, осуществляется за 10 секунд.

Этот метод позволяет получать массивные заготовки без пор, с ультрамелким размером зерен в субмикроструктурном или

нанометровом диапазоне. На данном этапе удастся получать размер зерен до 100 нм только в отдельных частях заготовки [18]. Формирование структуры определяется в большей степени направлением и числом проходов заготовки через каналы. На рисунке 4 представлены основные типы маршрутов при равноканальном угловом прессовании.

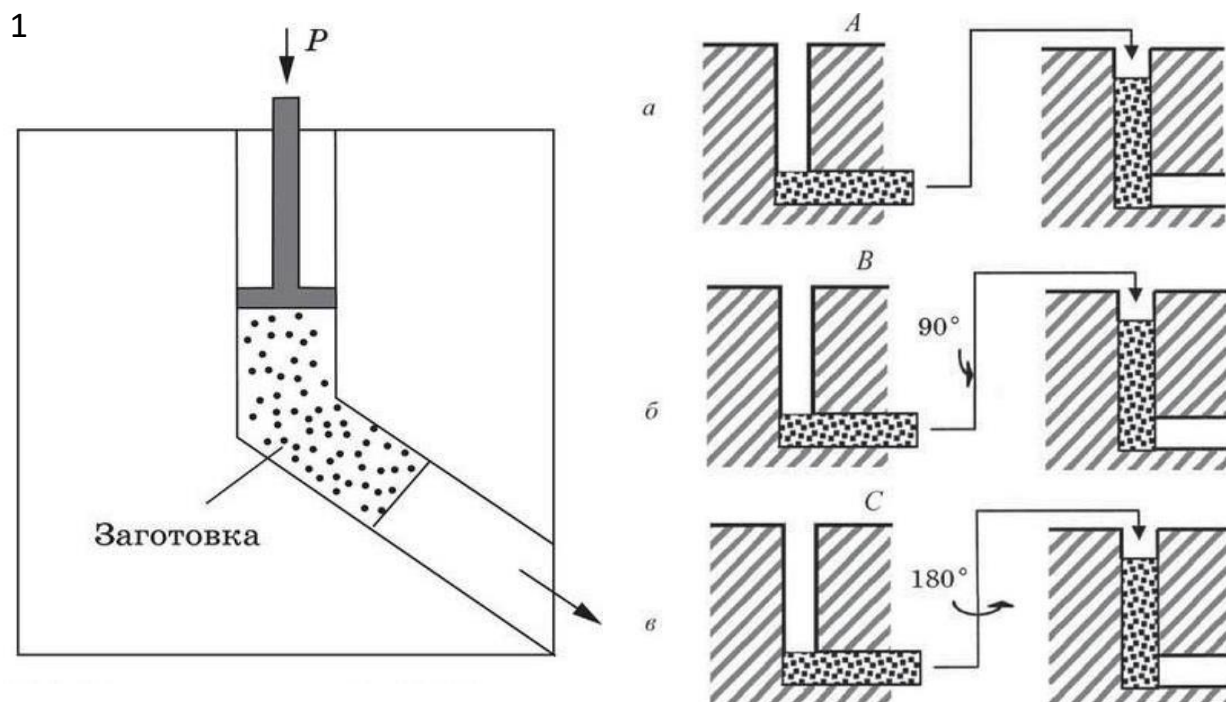


Рисунок 4 – Принципиальная схема способа РКУ-прессования  
и основные типы маршрутов:

а – ориентация заготовки неизменна во всех проходах;

б – заготовка поворачивается на  $90^\circ$ , после каждого прохода;

в – заготовка поворачивается на  $180^\circ$ , после каждого прохода.

В книге [20] технически чистый алюминий и алюминиевый сплав 1420 (Al- 5,5Mg-2,2Li-0,12Zn) подвергали равноканальному угловому прессованию под углом  $90^\circ$ , количество циклов равнялось восьми. Результаты просвечивающей электронной микроскопии показали измельчение структуры чистого алюминия. Размер субзерна лежал в диапазоне от 0,5 до 4 мкм. Микротвердость после обработки возросла почти в два раза, а пределы прочности и текучести увеличиваются в 2 и 10 раз, деформация до разрушения снижается в 2,7 раза. У сплава 1420 размер



субзерна равен 2,2мкм. Сплав 1420 демонстрирует дополнительное увеличение прочности из-затвердорастворного и дисперсного упрочнения.

Следующим методом изменения структуры является всесторонняя ковка [20]. Суть метода заключается в повторении операции (обычно до 20 циклов) свободнойковки: осадка-протяжка со сменой оси прилагаемой деформирующей силы. Обработку обычно начинают с повышенных температур, данный способ позволяет получать наноструктурные состояния даже в хрупких материалах. Обычно температуру выбирают 0,3-0,6 от температуры плавления. Этим методом был получен размер зерна до 100 нм в титане, сплаве Ti-6%Al-32%Mo, высокопрочных высоколегированных никелевых сплавах.

Оба метода пластической деформации имеют ряд преимуществ, к которым можно отнести возможность получения материалов с наноструктурой, создание непрерывного процесса на базе РКУ-прессования.

Основными недостатками являются:

- малый геометрический размер продукта;
- анизотропная микроструктура;
- сложное оборудование.

#### **1.4.2 Методы, основанные на использовании концентрированных потоков энергии**

Анализируя современные методы упрочнения поверхности стальных деталей можно выявить направление, использующее концентрированные потоки энергии. Концентрированный поток энергии представляет собой энергетический поток, направленный на определенный локальный участок на поверхности с плотностью тепловой мощности  $10^3 \text{Вт/см}^2$  [20]. Благодаря этим методам удастся добиться больших скоростей нагрева и охлаждения, что позволяет повысить концентрацию дефектов в обработанном материале, изменить их распределение и получить новые свойства. Первыми начинали применять лазерные, затем электронно-лучевые и плазменные источники

нагрева. Эти методы объединяет подвод энергии в локальную точку и теплоперенос на соседние, высокоскоростное охлаждение.

Основной особенностью данных методов так же является протекание фазовых и структурных превращений вдали от равновесных [21]. С учетом того что нагретый участок составляет лишь малую часть от всего модифицируемого материала, то отношение скорости отвода тепла к критической скорости закалки больше 1 [22].

По сравнению с традиционными методами модификации, легирование поверхности при локальном нагреве и высоких скоростях плавления и кристаллизации обладает целым рядом преимуществ [23]:

- ресурсоэффективность;
- минимизация последующей механической обработки;
- не требуется последующая термообработка;
- контролируемость процесса;
- не предъявляются требования к геометрии поверхности, наличием электрических и магнитных полей;
- высокая скорость обработки, получение высококачественных изделий;
- воспроизводимость параметров упрочняемого слоя.

В качестве источников концентрированных потоков энергии нашли применения импульсные лазерные, плазменные, ионные и электронные пучки.

В настоящее время используются лазеры с длиной волны 0,3-10,6 мкм [22, 24]. Лазеры нового поколения имеют достаточно высокий КПД, который у диодных лазеров достигает 50%. Нагрев представляет собой наиболее используемый метод поверхностного упрочнения лазером приводящих к фазовым превращениям. Путем плавления можно осуществлять легирование, аморфизацию, лазерную очистку зерен. Необходимо использовать покрытия, поглощающие лазерное излучение, так как алюминий при нормальных условиях отражает 97% падающего потока излучения [25].

Основные преимущества упрочнения лучом лазера: упрочнение особых зон, труднодоступных полостей. Возможность получения заданных физико-механических свойств, отсутствие коробления и деформации деталей, отсутствие механического воздействия, которое может привести к накоплению дефектов в структуре.

Основные недостатки: недолговечность линз, возможность образования пор, малая производительность при большой протяженности материала, дороговизна процесса.

Плазменную наплавку выполняют током прямой полярности, который воздействует постоянно. По виду применяемого присадочного материала способы наплавки делятся на три основные группы [25]:

- наплавка проволокой и прутками;
- наплавка при неподвижной присадке;
- наплавка порошком.

Вид материала определяется конструкцией установки для нанесения и наплавления.

Материалы в переходной области значительно отличающиеся по составу, могут оказывать воздействие на служебные характеристики при эксплуатации покрытий. Поэтому после наплавки детали подвергаются отпуску или термической обработке в целом.

Основные недостатки данного метода, существующие на данный момент, - большая теплоотдача в основной металл, что может вызвать изменение геометрических форм. Необходимость защиты от окисления, сложность и дороговизна оборудования.

Способ обработки поверхности ионными пучками - универсальный, дает возможность введения в любой материал других элементов в строго контролируемой концентрации. Приводит к формированию большого количества дефектов в поверхности, что оказывает прямое воздействие на свойства.

Ионная имплантация по сравнению с нанесением покрытий имеет ряд преимуществ:

1. Поверхностные свойства изменяются независимо от всего объема материала;
2. Низкие температуры позволяют избежать изменения объемных свойств;
3. Использование ионной имплантации не изменяет шероховатость поверхности образца.

Электронно-лучевое воздействие на материал делится на два типа: электронно-лучевое облучение и электронно-лучевую наплавку.

Облучение основано на формировании пучка электронов в электронной пушке, который используется в качестве энергоносителя. Данный метод позволяет реализовать и сформировать аморфную структуру, ударное упрочнение.

Авторы работы [25] утверждают, что с помощью данного метода возможно повышение износостойкости резцов марки T5K10. При этом изменяются параметры решетки, величина микроискажений, но не обнаруживаются новые фазы.

Электронно-лучевая наплавка и легирование приводят к увеличению механических и структурных свойств титановых сплавов, меди [26]. Этот метод позволяет уменьшить стоимость конструкций с одновременным увеличением срока службы. Данный метод позволяет минимизировать воздействие атмосферы на металл, но не убирает его полностью. Поэтому чаще применяют наплавку в вакууме.

Электронно-лучевая обработка основывается на превращении энергии кинетической в тепловую, которая выделяется при столкновении электронов с материалом. Оборудование обычно состоит из электронной пушки, вакуумной камеры, источника питания и центра управления. В электронной пушке происходит генерирование электронов, формирование пучка и его последующее ускорение.

Основное преимущество электронно-лучевой наплавки – возможность обработки широкого спектра материалов, возможность автоматизации процесса, кроме того этот метод позволяет изготавливать фасонные щели и пазы в труднообрабатываемых материалах, например, в рубине [27].

Для модифицирования структуры поверхностного слоя и образования сплавов должна быть реализована возможность изменять его состав при неизменном составе основного объема материала. Облучение ионными, лазерными, электронными пучками можно рассматривать как рядовые методы для достижения поставленных задач. Состав можно изменять ионной имплантацией, причем для металлических мишеней предельная концентрация равна 30%, для достижения более высоких концентраций необходимо предварительно напылить пленку, а затем применить атомное перемешивание. Оно может быть осуществлено различными способами, в частности ионной бомбардировкой, импульсным плавлением. Быстрое затвердевание, следующее за облучением, способно изменить структуру трудно предсказуемым образом.

## **1.5 Преимущества и недостатки метода фрикционной перемешивающей обработки**

Из проведенного литературного обзора состояния проблемы можно установить, что метод фрикционной перемешивающей обработки обладает рядом преимуществ перед традиционно-используемыми методами модификации структуры материалов.

Преимущества фрикционной перемешивающей обработки:

- Низкий уровень энергопотребления по сравнению с другими методами поверхностного упрочнения;
- Отсутствует расходный инструмент, нет необходимости в использовании защитных газов;
- Нет необходимости в тщательной подготовке поверхности (отбеливание и т.д.), обычно требуется только обезжирить поверхность;
- Возможность в получении новых композиционных материалов;
- Экологичность процесса. Нет выделения в окружающую среду вредных испарений;

Недостатки метода фрикционной перемешивающей обработки:

- Большие габариты оборудования;
- В месте выхода инструмента образуется отверстие, равное диаметру пина. Данное отверстие удаляют методами сварки трением специальных пробок, сваркой другими методами или выводят шов за пределы детали или заготовки;
- Большая осевая сила действующая на оборудование, из-за которой необходимо закреплять заготовку/изделие, особенно с обратной стороны обрабатываемого изделия.

## 2. Методика исследований

### 2.1 Исследуемый материал

Сплавы АК9 и АК12 так называемые – силумины – сплавы на основе системы Al-Si. Эвтектика в системе Al-Si сравнительно пластична. Поэтому силумины для обеспечения высоких литейных свойств могут содержать много эвтектики. Эвтектика состоит из  $\alpha$ -раствора кремния в алюминии и раствора алюминия в кремнии, который при исследовании силуминов рассматривают как чистый кремний. В ходе проведения цифровой металлографии, на шлифе эвтектика выглядит в виде светлой матрицы –  $\alpha$ -раствора и изолированных иголок кремния [28], (рис. 3).

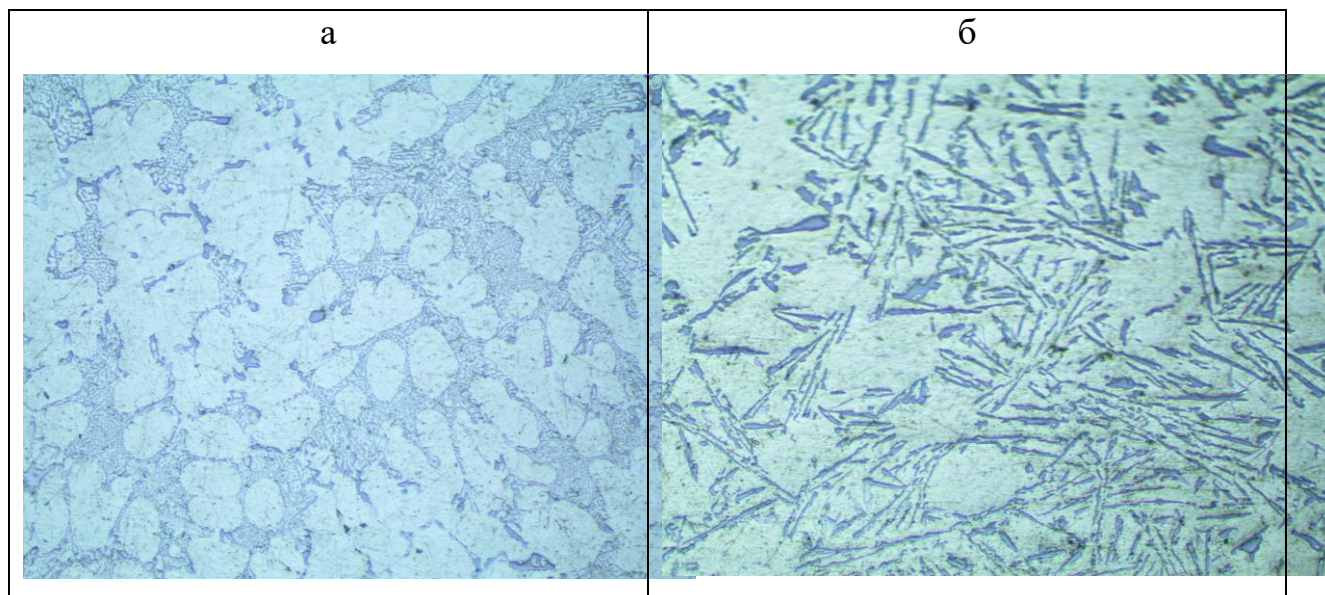


Рисунок 3 – Микроструктура доэвтектического (АК9) – а;  
эвтектического (АК12) – б силумина (x200)

Рассмотрим подробнее сплав АК9 (он же АЛ4В). В соответствии с ГОСТ 1583-93 данный сплав имеет химический состав, указанный в таблице 3:

Таблица 3 – химический состав АК9

Mn	Si	Ni	Fe	Cu	Al	Ti	Zn	Zr	Mg
0,2-0,5	8-11	$\leq 0,3$	$\leq 0,9$	$\leq 1$	остальное	-	$\leq 0,5$	-	0,2-0,4

Данный сплав является термически упрочняемым, относится к системе Al-Si-Mg. Обладает удовлетворительными прочностными свойствами, но обладает пониженной прочностью и коррозионной стойкостью. Обладает

высокими литейными свойствами, удовлетворительной свариваемостью и обрабатываемостью резанием. АК9 обладает следующими недостатками: относительно сложная технология литья; пониженная жаропрочность; повышенная газовая пористость. Данный сплав нашел широкое применение для изготовления фасонных отливок деталей горно-металлургического оборудования; отливок деталей металлургического оборудования (крупных и средних сложных по конфигурации деталей картеров и блоков двигателей, работающих при температуре не более + 200 °С [29]. Сплав нашел широкое применение при производстве крупных деталей сложной формы, несущие статические и ударные нагрузки (картеры, блоки цилиндров ДВС и т.п.).

Рассмотрим подробнее сплав АК12 (он же АЛ2). В соответствии с ГОСТ 1583-93 данный сплав имеет химический состав указанный в таблице 4.

Таблица 4 – химический состав АК9

Mn	Si	Fe	Cu	Al	Ti	Zn	Zr	Mg
≤0,5	10-13	≤0,7	≤0,6	остальное	≤0,1	≤0,3	≤0,1	≤0,1

Данный сплав является термически не упрочняемым сплавом, имеющий низкие прочностные свойства, удовлетворительной коррозионной стойкостью на воздухе, пресной воде, масле и топливе и пониженной в морской воде. Литейные свойства – высокие: обладает высокой жидкотекучестью, заполняемостью и герметичностью, малой литейной усадкой, не склонен к образованию горячих трещин, склонен к образованию крупной газовой пористости. Для повышения механических характеристик сплав подвергается модифицированию. Сплав обладает наихудшей обрабатываемостью резанием по сравнению с другими алюминиевыми сплавами [30]. Сплав АК12 не рекомендуется использовать в тех деталях, к которым предъявляются требования к повышенной чистоте поверхности после механической обработки. Данный сплав нашел широкое применение при производстве тонкостенных деталей сложной формы, которые могут воспринимать ударные нагрузки (корпусные детали, рычаги, кронштейны, крышки и т.п.).



## 2.2 Применяемое оборудование

В ходе проведения лабораторных исследований использовалось следующее лабораторное оборудование:

- 1) Электроэрозионный станок DK7750;
- 2) Установка сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием (Сеспель);
- 3) Металлографический цифровой микроскоп Альтами МЕТ1С;
- 4) Универсальная разрывная машина УТС110-М-50-0У.

Далее представим визуальное изображение и краткие технические характеристики данного оборудования.



Рисунок 5 – Электроэрозионный станок DK7750

Таблица 5 – Технические характеристики станка [31]

Размер стола	мм	1000x670
Перемещение стола	мм	630x500
Максимальная толщина реза	мм	500
Угол наклона проволоки	°	±3
Максимальный вес заготовки	кг	700
Точность позиционирования	мм	0,015/300
Повторяемость	мм	0,01
Максимальная скорость обработки	мм <sup>2</sup> /мин	150-180 (1 проход, толщина заготовки 40-70 мм, шероховатость ~ Ra3,2)
Достижимая шероховатость	Ra, мкм	0,8 – 1,6



Рисунок 6 – Установка сварки трением с перемешиванием  
с ультразвуковым воздействием

Таблица 6 – Технические характеристики станка [32]

Ширина свариваемых заготовок	мм	30 - 220
Длина свариваемых заготовок	мм	max 1000
Толщина заготовок	мм	1,5 - 10
Угол наклона инструмента	°	до 3
Прижимное усилие	кН	40
Скорость вращения инструмента	об/мин	100 - 1000
Максимальная скорость обработки	мм/мин	1500



Рисунок 7 - Металлографический цифровой микроскоп

Альтами MET1C

Таблица 7 – Технические характеристики микроскопа [33]

Увеличение	50x; 100x; 200; 500x; 1000x
Освещение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- галогенная лампа 30Вт, 12в;</li> <li>- регулируемые апертурная и полевая диафрагмы;</li> <li>- плавная регулировка яркости освещения;</li> <li>- планка со светофильтрами (синий, зеленый, желтый, матовый);</li> <li>- регулировка положения лампы в трех направлениях.</li> </ul>
Предметный столик	<ul style="list-style-type: none"> <li>- размер 242x200 мм;</li> <li>- диапазон перемещений 30x30мм;</li> <li>- максимальный вес образца 2 кг;</li> <li>- 3 круглые вращаемые вставки с диаметрами 10, 20 и 30 мм.</li> </ul>

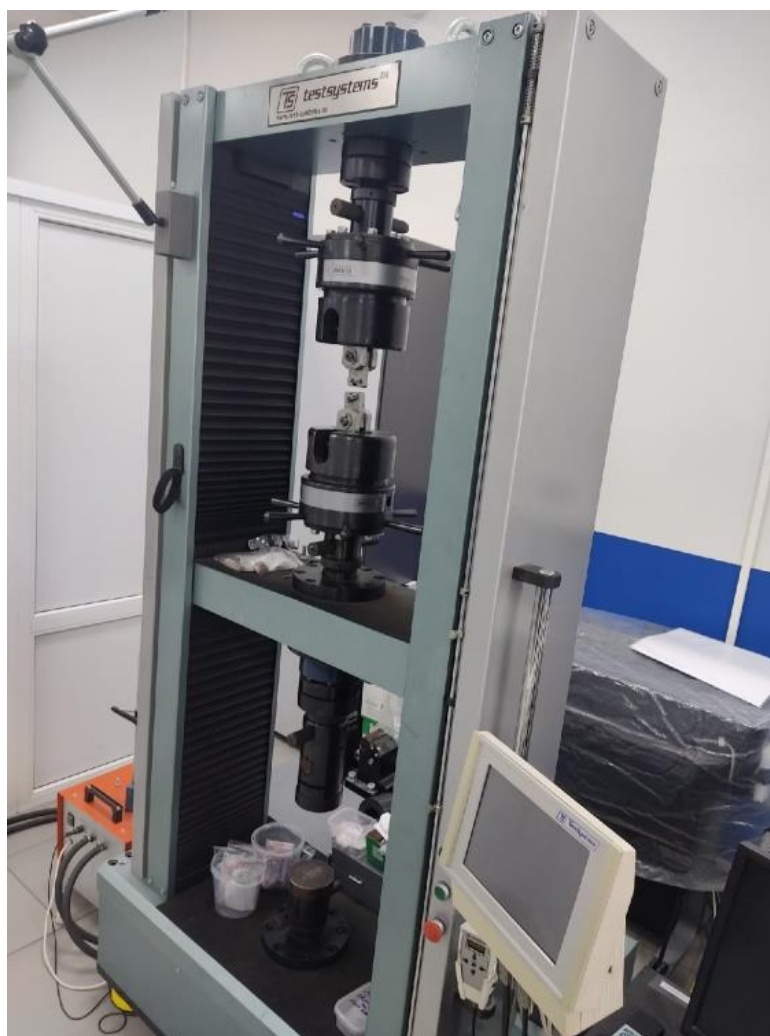


Рисунок 8 – Универсальная испытательная машина  
(разрывная машина УТС-110М)

Таблица 8 – Технические характеристики установки [34]

Наибольшая предельная нагрузка	кН	50
Диапазон измерений нагрузки	кН	0,5 - 50
Относительная погрешность измерений нагрузки	%	0,5
Диапазон рабочих скоростей	мм/мин	0,005 - 500
Скорость возврата подвижной траверсы	мм/мин	не менее 500
Полный рабочий ход подвижной траверсы	мм	1000
Расстояние между колоннами	мм	500
Абсолютная погрешность измерений перемещения подвижной траверсы, не более	мм	<ul style="list-style-type: none"> <li>от 0,1 до 50 включ. – 0,01</li> <li>св. 50 до 300 включ. – 0,1</li> <li>св. 300 – 0,5</li> </ul>

### 2.3 Подготовка образцов

В исследовании использовались листы АК9 и АК12, габариты: 220x80x5 мм, которые получали при помощи разрезания литого слитка на электроэрозионном станке ДК 7750. Далее полученные листы устанавливались в лабораторную установку для обработки. Установка изготовлена российской фирмой «СЕСПЕЛЬ» [32]. Для обработки трением с перемешиванием использовался инструмент, выполненный из штамповой жаропрочной стали, с пином различной конфигурации (квадратный; винтовой).

Инструмент был подобран таким образом, чтобы глубина обработки составляла - 3мм, ширина плеч инструмента – 16 мм, диаметр описанной окружности пина – 7мм. Заготовка закреплялась по обе стороны от зоны обработки прижимами к станине станка. Обработка производилась в соответствии с режимами размещенными в разделе 2.4 данной работы, количество проходов составляло от одного до четырех проходов по одной и той же области.

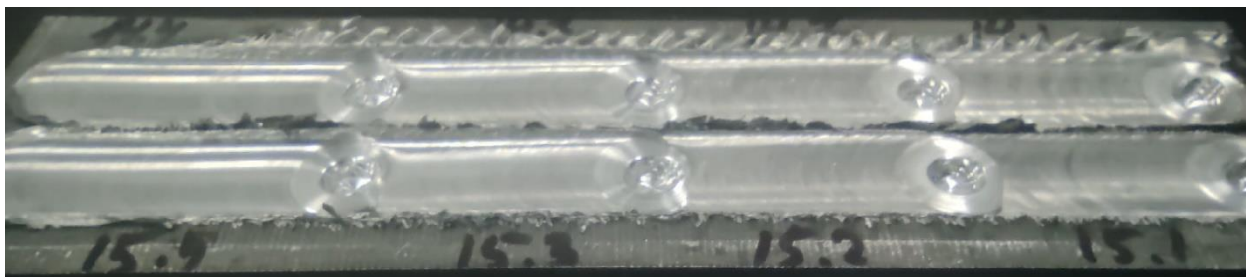


Рисунок 9 – внешний вид заготовки после обработки

На рисунке 9 представлен лист материала, из которого получится 16 образцов (8 для структурного анализа; 8 для механических испытаний). Инструмент внедрялся слева, проходил по всей длине заготовки ( $l$ ), извлекался из материала, возвращался на исходную позицию, внедрялся в заготовку, проходил расстояние ( $l-(\sim 55)$ мм) до достижения четырех проходов на первом участке. Далее смещался на необработанную поверхность, с обеспечением условия не пересечения обработанной поверхности, изменялись режимы и производилась обработка.



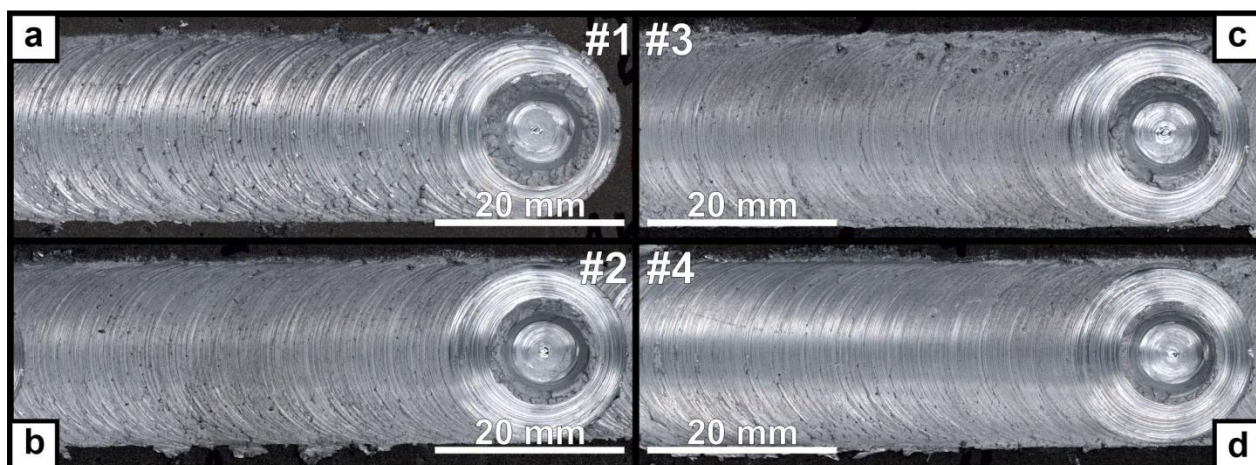


Рисунок 10 – внешний вид поверхности в зоне обработки  
после 1-4-х проходов инструментом

На рисунке 10 видно что полученная поверхность имеет различное строение в зависимости от числа проходов, чем больше количество проходов, тем более однородная поверхность получается, происходит выглаживание наружной поверхности заготовки. В зоне выхода инструмента (отверстие справа) имеются следы отрыва материала, в следствии налипания на пин инструмента.

Из полученных зон обработки изготавливали образцы с шириной  $20 \div 25$  мм, толщиной  $\sim 5$  мм, для подготовки поперечных шлифов для исследования структуры и дефектов в зоне обработки.

Для механических испытаний подготовили образцы соответствии с ГОСТ 1497-84 [35]. Поперечное сечение испытуемого образца  $2,5 \times 2,5$  мм. Образцы вырезались вдоль зоны обработки, чтобы в образце не было включений основного металла (проводились испытания только модифицированного материала).



Рисунок 11 – образец для испытания на растяжение

Так же был подготовлен ряд образцов из сплава АК12 в который внедряли порошок титана в различном процентном соотношении (от 0,5 до 5%). Титановый порошок использовался марки ПТМ-2, средний размер частиц порошка 45 мкм. Для внедрения порошка титана был сделан ряд технологических отверстий, в которые был помещен порошок титана, далее в процессе обработки порошок титана смешивался с алюминиевой основой (см. рис. 12).

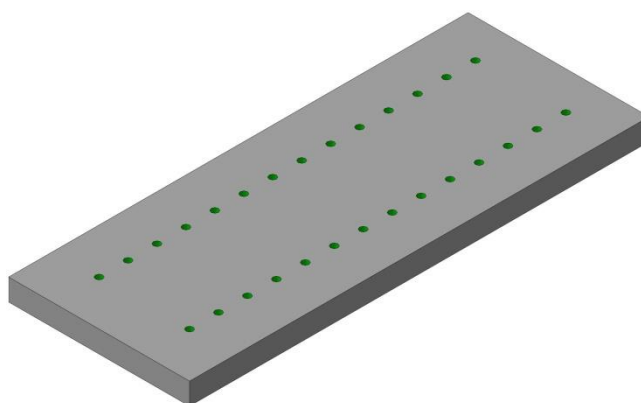


Рисунок 12 – схематичное изображение листа АК12 с рядом отверстий, для внедрения порошков титана

Исследования структуры проводили методом оптической микроскопии на микроскопе Альтами МЕТ1С. Механические испытания проводили на универсальной разрывной машине УТС110-М.

## 2.4 Режимы обработки

Основными параметрами влияющими на процесс фрикционной перемешивающей обработки являются:

- Тип инструмента (конструкция, форма и геометрические характеристики рабочей части);
- Скорость вращения инструмента;
- Скорость сварки;
- Угол наклона инструмента к обрабатываемой поверхности (в данном исследовании угол наклона  $0^\circ$ ).

В процессе FSP формируется зона обработки в которой можно выделить несколько основных зон: SZ – зона перемешивания, которая состоит из термопластически деформированного материала; TMAZ – зону термомеханического влияния; AS – наступающая зона; RS – отступающая сторона (рис. 13).



Рисунок 13 – структура зоны обработки

Для управления структурой шва экспериментальным способом были подобраны режимы обработки, а так же использовались два типа инструмента представленные на рисунке 14:





Рисунок 14 – применяемый инструмент

а – с конусообразным пином

б – с квадратным пином

Параметры режимов обработки представим в виде таблиц 9, 10.

Таблица 9 – параметры режима  
обработки трением с перемешиванием сплава АК12

Образец	№ прохода	Параметры режима FSP		
		Скорость сварки, V мм/мин	Усилие внедрения/сварки инструмента к заготовке, P <sub>внедр</sub> /P <sub>свар</sub> , КГ	Частота вращения инструмента, ω, об/мин
АК12 №2	1÷4	90	950/900	500
АК12 №3	1	150	950/900	500
	2		900/900	
	3		850/900	
	4		800/850	
АК12 №4	1	90	750/750	500
	2			600
	3			666
	4		700/750	666
АК12 №5,6	1÷4	90	750/750	700
АК12 №7	1÷4	90	750/750	750
АК12+0,5%Ti №2	1÷4	90	750/750	750
АК12+1%Ti №1				
АК12+1,5%Ti №4				
АК12+2%Ti №3				
АК12+2,5%Ti №5				
АК12+5%Ti №5				
АК12 кв. инст. №11	1÷4	90	650/600	450
АК12 кв. инст. №12	1÷4	90	650/600	500

Таблица 10 – параметры режима  
обработки трением с перемешиванием сплава АК9

Образец	№ прохода	Параметры режима FSP		
		Скорость сварки, V мм/мин	Усилие внедрения/сварки инструмента к заготовке, P <sub>внедр</sub> /P <sub>свар</sub> , кг	Частота вращения инструмента, ω, об/мин
АК9 №1	1÷4	90	750/750	750
АК9 №2	1÷4	90	800/800	750
АК9 №3	1÷4	90	800/800	800
АК9 кв. инст. №8	1÷4	90	750/700	450
АК9 кв. инст. №9	1÷4	90	750/700	450
АК9 кв. инст. №10	1÷4	90	750/700	500

## 2.5 Исследование структурных характеристик зоны перемешивания

Для исследования были подготовлены поперечные шлифы 32х образцов АК12, 24х образцов АК9 и 24 образцов АК12 с внедренным в них порошком Ti, для проведения испытаний методом оптической микроскопии.

Рассмотрим подробно образец №5, материал АК12 обработан инструментом с коническим пином. На рисунке 15 представлены поперечные шлифы зоны обработки после 1÷4х проходов инструментом.

На поперечном шлифе отчетливо видна зона перемешивания (SZ на рис. 15) и зона термомеханического влияния (TMAZ на рис. 15), различно организованную с отступающей (RS на рис. 15) и наступающей (AS на рис. 15) стороной. В зоне перемешивания можно отметить что отсутствуют поры, которые в большом количестве присутствуют в основном металле. В структуре поперечного шлифа не выявлено наличие дефектов, которые могут встречаться при FSP.



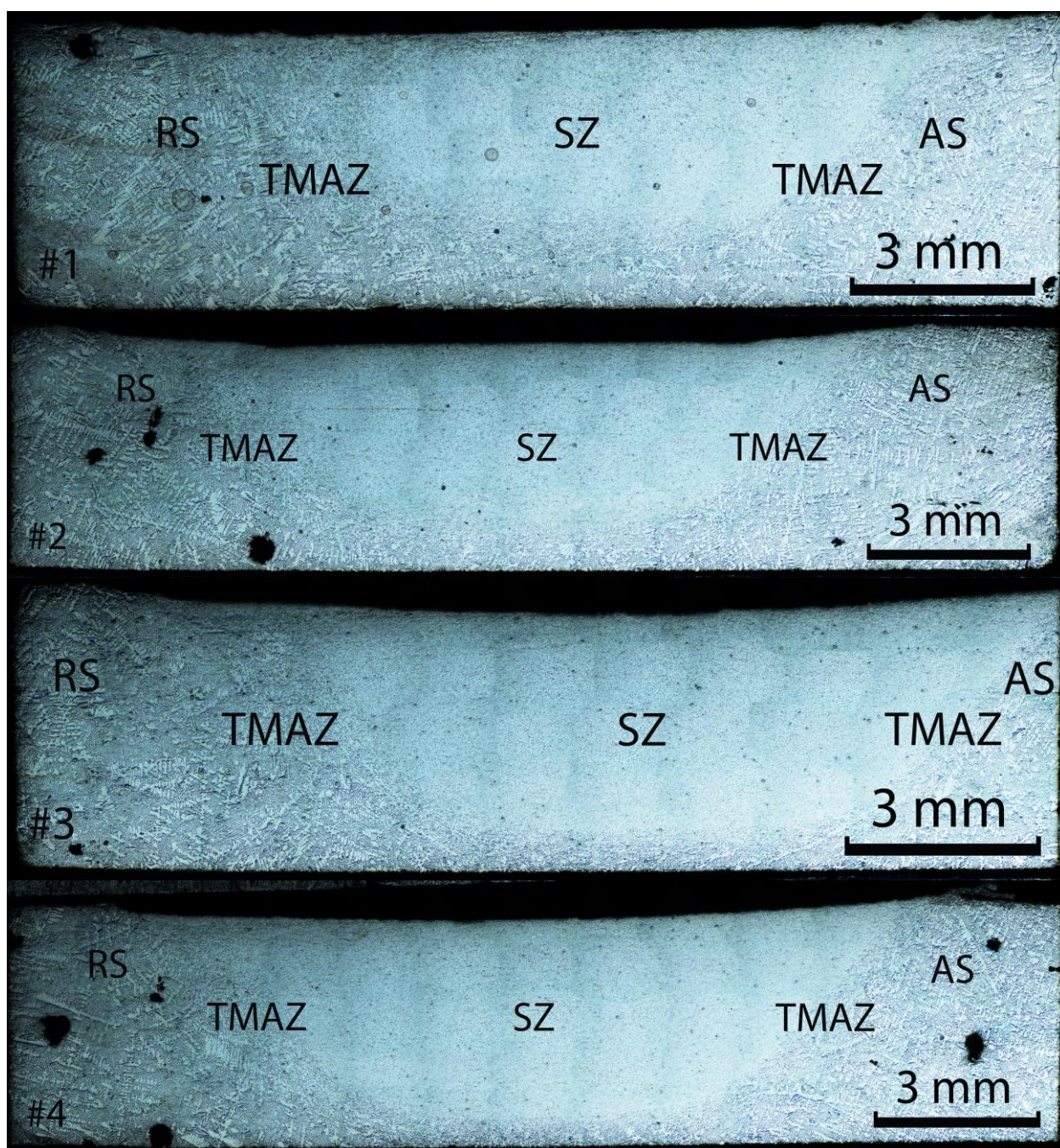


Рисунок 15 – структура зоны обработки после  
1÷4-х проходов инструментом  
образец №5, материал АК12

На рисунке 16 показана структура основного металла, не подверженного обработке. На данном рисунке можно отметить что кремний находится в крупнодендритном состоянии. Далее на рисунке 17 представлена центральная зона обработки после 1÷4х проходов инструмента. В данных зонах можно ответить что крупные частицы кремния приобрели практически



равноосное строение уже при первом проходе инструмента, образуется мелкозернистая структура.

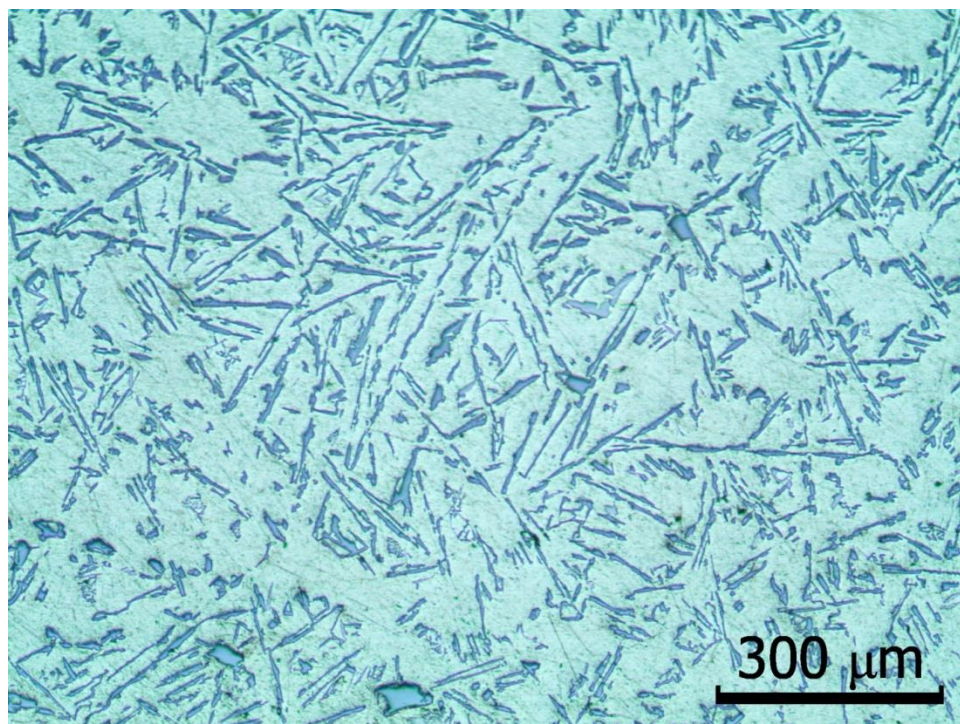


Рисунок 16 – Структура основного металла АК12,  
образец 5, увеличение x100

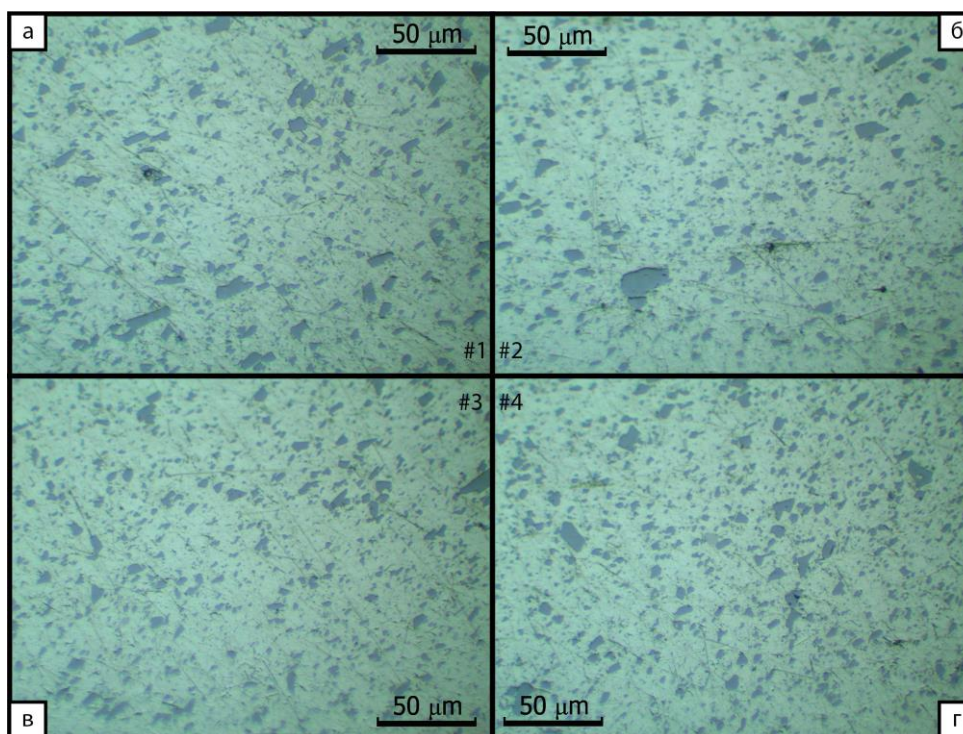


Рисунок 17 – Структура зоны перемешивания сплава АК12,  
после 1-4-х проходов инструмента  
образец 5

Далее произвели измерение среднего размера зерен в зоне основного металла и зоне перемешивания. Результаты измерения частиц кремния пятого образца представим в виде таблицы 11:

Таблица 11 – средний размер  
образца №5 зерен АК12 (мкм)

№ частицы	без обработки	5.1	5.2	5.3	5.4
	размер (мкм)				
1	2,75	3,67	5,2	3,67	3,67
2	3,36	2,45	2,75	4,89	3,36
3	1,83	5,5	1,22	2,14	2,14
4	5,2	4,59	15,9	1,83	2,45
5	4,59	1,83	5,2	2,75	3,67
6	4,28	2,75	4,59	2,15	5,5
7	7,95	14,07	3,06	1,83	0,92
8	10,09	4,28	5,5	3,36	3,06
9	4,89	3,06	3,06	5,81	5,5
10	7,65	1,83	2,45	2,75	3,36
11	12,54	7,95	7,03	3,36	3,67
12	6,12	6,42	2,14	3,06	3,06
13	3,98	4,28	1,53	7,34	2,45
14	10,09	9,17	4,89	3,67	9,79
15	13,15	4,28	4,59	3,06	3,36
16	3,36	2,14	11,01	5,81	3,06
17	5,5	3,67	1,83	9,17	2,14
18	12,23	8,56	2,75	3,98	3,36
19	7,95	6,42	5,2	1,83	3,06
20	9,17	5,81	7,03	4,59	6,42
21	3,98	7,65	4,89	1,22	4,59
22	3,06	2,14	5,81	3,06	3,67
23	6,73	3,67	3,06	6,12	2,45
24	4,28	3,98	5,2	4,89	5,81
25	3,98	9,17	10,7	5,81	1,22
26	7,03	8,26	2,75	3,06	3,67
27	12,84	5,2	5,2	2,45	5,81
28	5,81	2,45	3,36	3,67	2,14
29	4,28	4,89	3,98	5,2	3,36
30	7,34	7,34	2,75	3,06	3,67
	6,533666667	5,249333333	4,821	3,853	3,679666667

Аналогичным образом производились исследования остальных образцов, результаты измерения среднего размера зерен представим в виде таблиц 12 и 13.

Таблица 12 – средний размер зерен АК12 (мкм)

Обозначение	№	количество проходов инструмента				
		0	1	2	3	4
АК12	2	7,513	4,132	3,689	3,47	3,409
	3	7,002	4,701	4,814	4,783	4,498
	4	9,386	6,412	6,361	6,148	5,799
	5	6,533	5,249	4,821	3,853	3,679
	6	6,289	4,618	4,088	4,078	3,884
	7	5,689	4,76	4,403	4,4	4,057
АК12 FSP+Ti	1 (1%)	8,633	6,217	6,116	6,175	6,044
	2 (0,5%)	10,432	7,318	5,974	5,627	5,611
	3 (2%)	8,42	6,535	6,561	5,933	5,365
	4 (1,5%)	8,216	6,659	7,065	6,038	5,995
	5 (2,5%)	9,145	6,952	7,011	7,015	6,942
	6 (5%)	10,573	7,698	6,85	6,519	6,557
АК12 кв. инстр.	11	4,817	3,839	3,56	3,055	3,055
	12	4,981	3,521	3,416	3,111	3,178

Таблица 13 – средний размер зерен АК9 (мкм)

Обозначение	№	количество проходов инструмента				
		0	1	2	3	4
АК9	1	5,433	2,883	2,832	2,273	2,282
	2	4,302	2,813	2,751	2,587	2,537
	3	4,252	3,489	3,036	2,932	2,755
АК9 кв. инстр	5	4,409	2,987	2,335	1,889	2,01
	6	4,403	2,996	2,941	3,014	3,014
	7	4,598	2,963	2,823	2,939	2,951
	8	4,583	3,604	3,63	3,612	3,377
	9	4,338	3,251	3,049	3,093	3,12
	10	4,334	3,368	3,341	3,405	3,389

Так как структура исходного литого алюминиево-кремниевого сплава неоднородна и на каждом участке в основном металле имеется разный средний размер частиц кремния, введем коэффициент К, показывающий изменение среднего размера зерен относительно исходного размера. Данные

графики составлены для наглядного представления о влиянии количества проходов на процентное изменение частиц кремния.

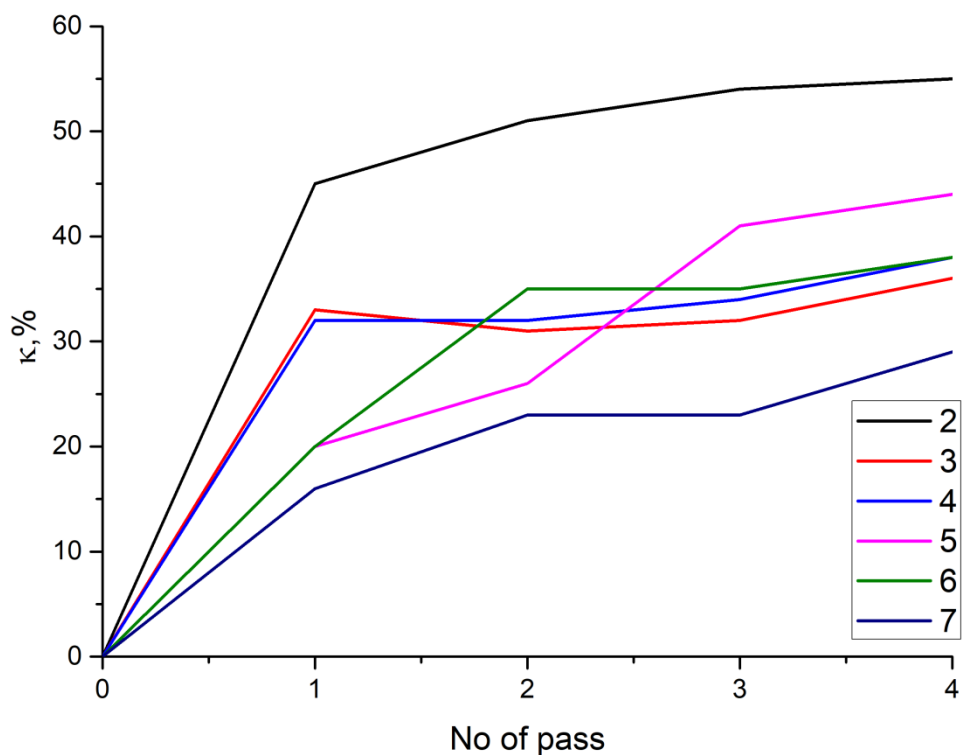


Рисунок 18 – Коэффициент измельчения частиц кремния.

Влияние режима и количества проходов, сплав АК12.

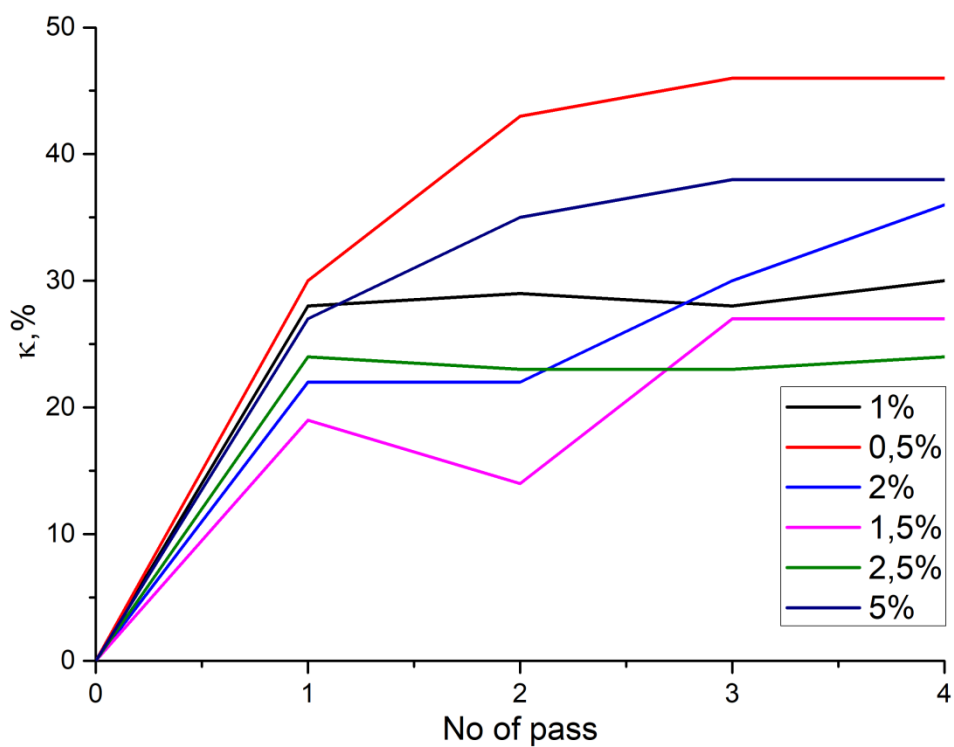


Рисунок 19 – Коэффициент измельчения частиц кремния.



Сплав АК12. Влияние содержания титана и количества проходов.

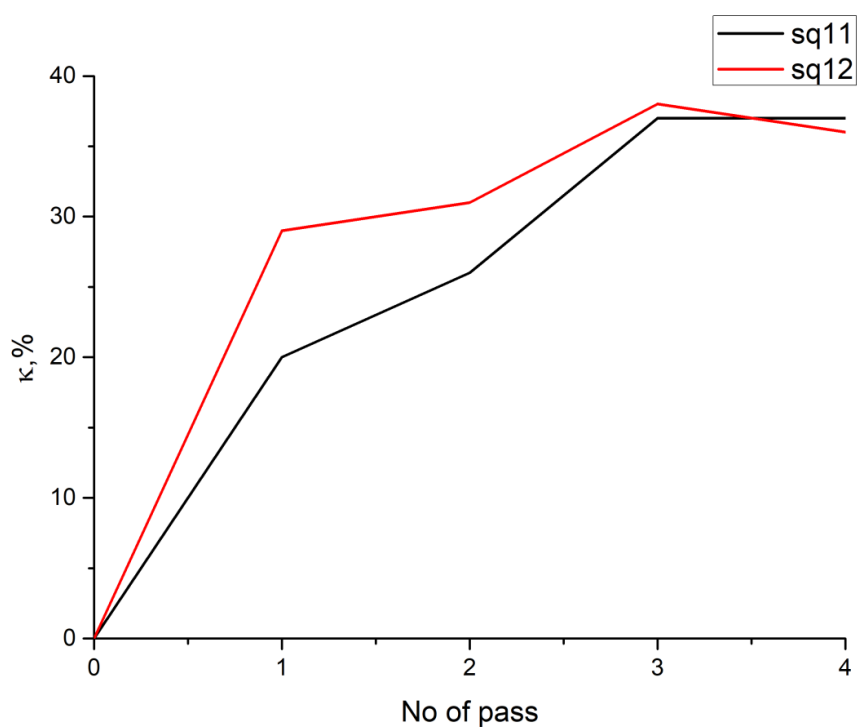


Рисунок 20 – Коэффициент измельчения частиц кремния.

Влияние режима и количества проходов.

Инструмент с пином квадратного сечения. Сплав АК12.

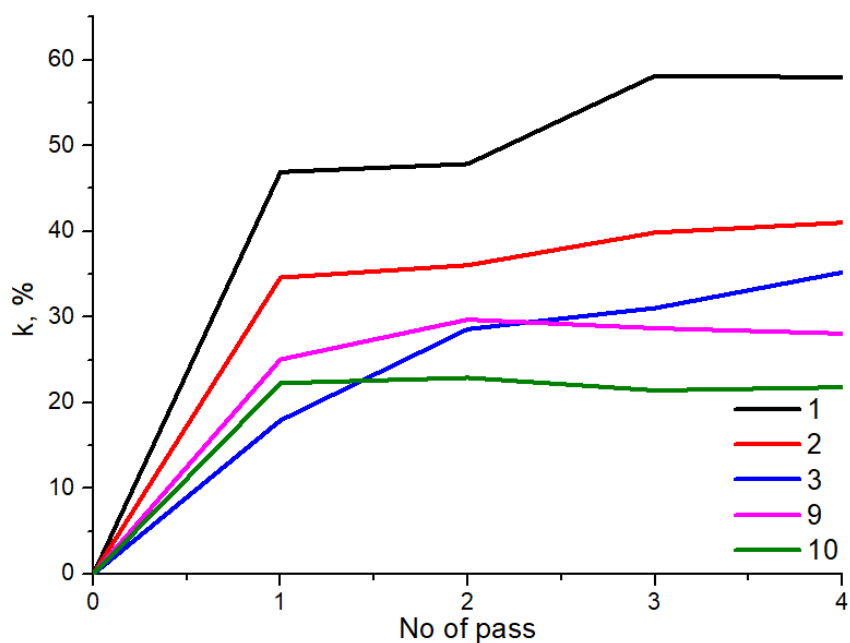


Рисунок 21 - Коэффициент измельчения частиц кремния.

Влияние режима и количества проходов. Сплав АК9.

Инструменты с пином квадратного сечения (режимы 9,10)

и винтовым пином (режимы 1,2,3).

Проанализировав полученные данные можно сделать следующие выводы:

В структуре образцов после первого прохода присутствуют крупные частицы кремния, в том числе вытянутой формы. С каждым последующим проходом средний размер включений кремния уменьшается, причем наиболее интенсивное измельчение происходит при первом проходе инструмента, с каждым последующим проходом интенсивность измельчения уменьшается.

В зоне обработки можно выделить что объемная доля частиц кремния снижается, при увеличении количества проходов вдоль линии обработки. Это может быть связано в связи с увеличением количества мелкодисперсных частиц, так и с общей неоднородностью строения алюминиевых сплавов.

Далее на рисунках 22 – 29 представим микроструктуру образцов АК9; АК9 и АК12 обработанных квадратным инструментом и микроструктуру АК12 в который внедрили 5% Ti.

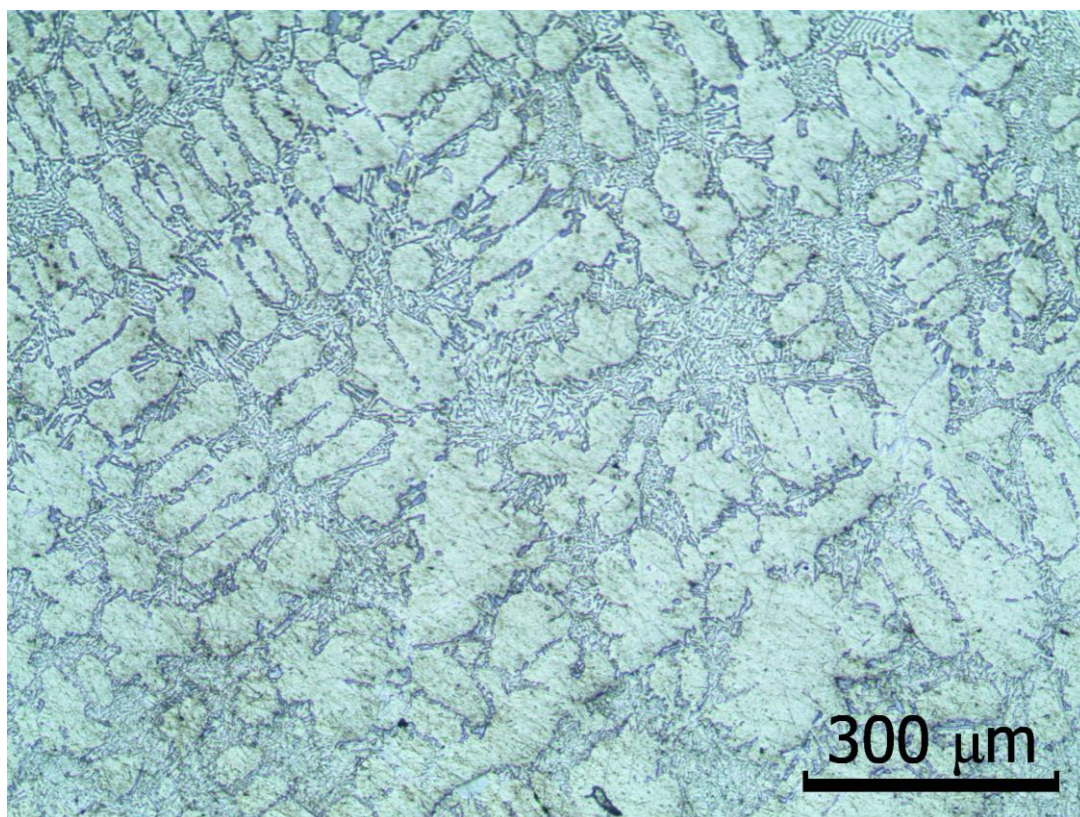


Рисунок 22 – Структура основного металла АК9, образец 2, увеличение x100

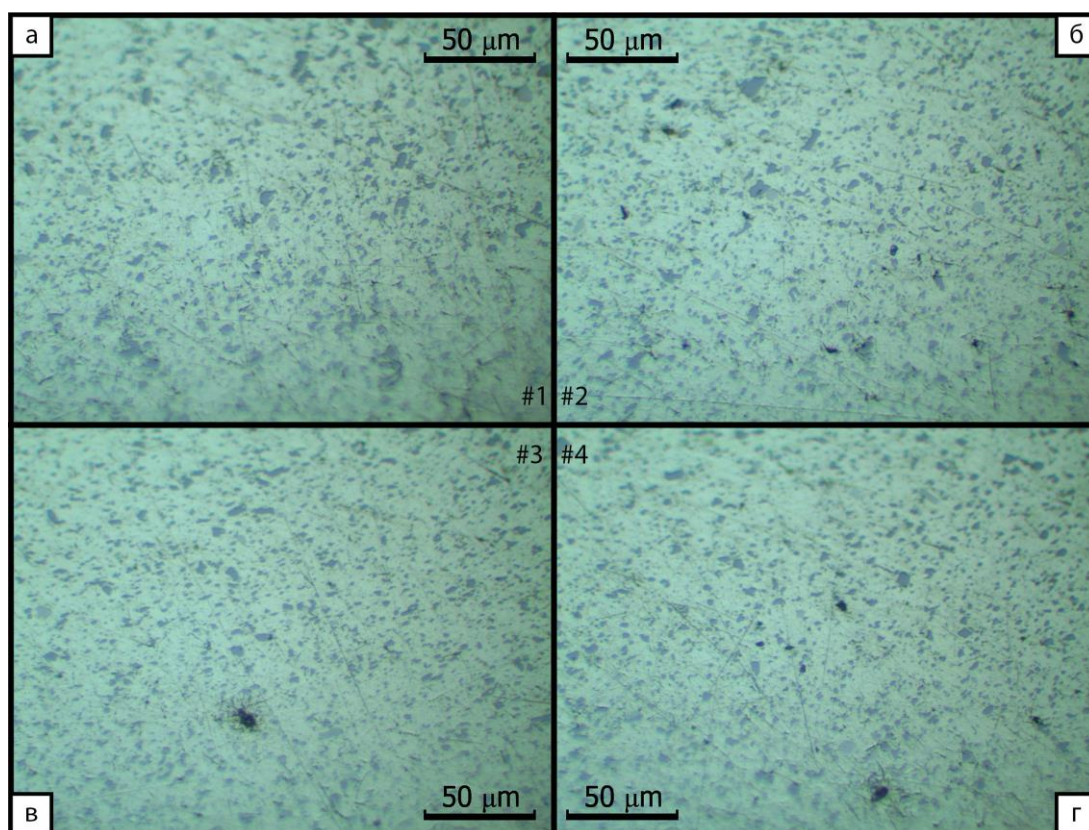


Рисунок 23 – структура зоны обработки после  
1÷4-х проходов инструментом  
образец №2, материал АК9



Образцы, обработанные квадратным инструментом:

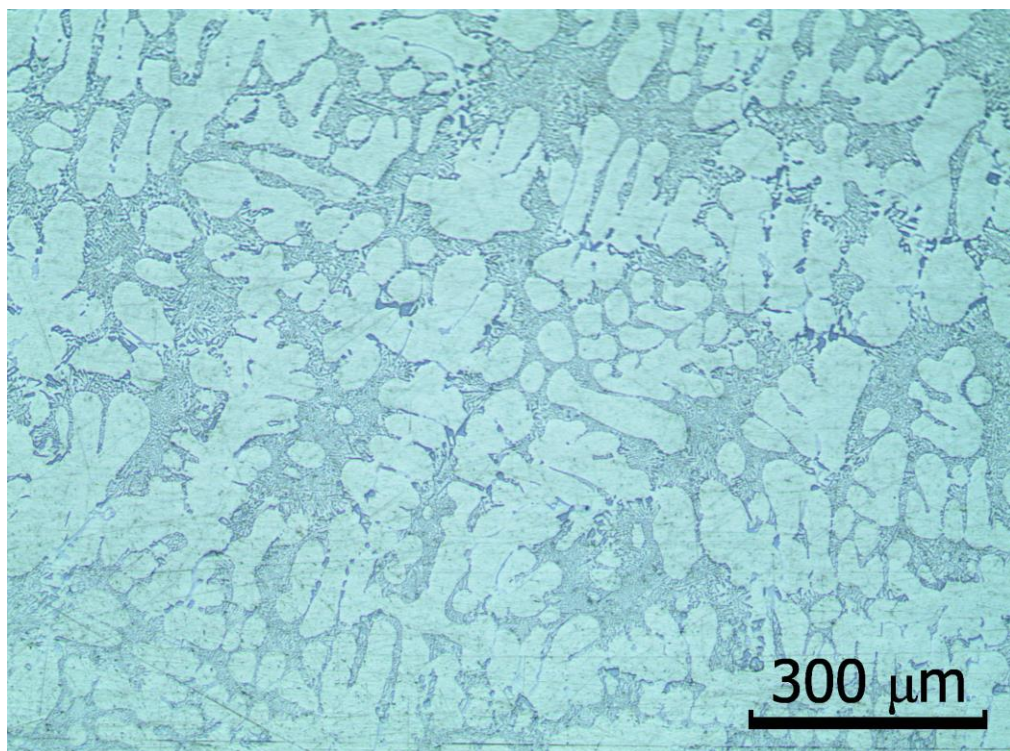


Рисунок 24 – Структура основного металла АК9,  
образец 7, увеличение x100

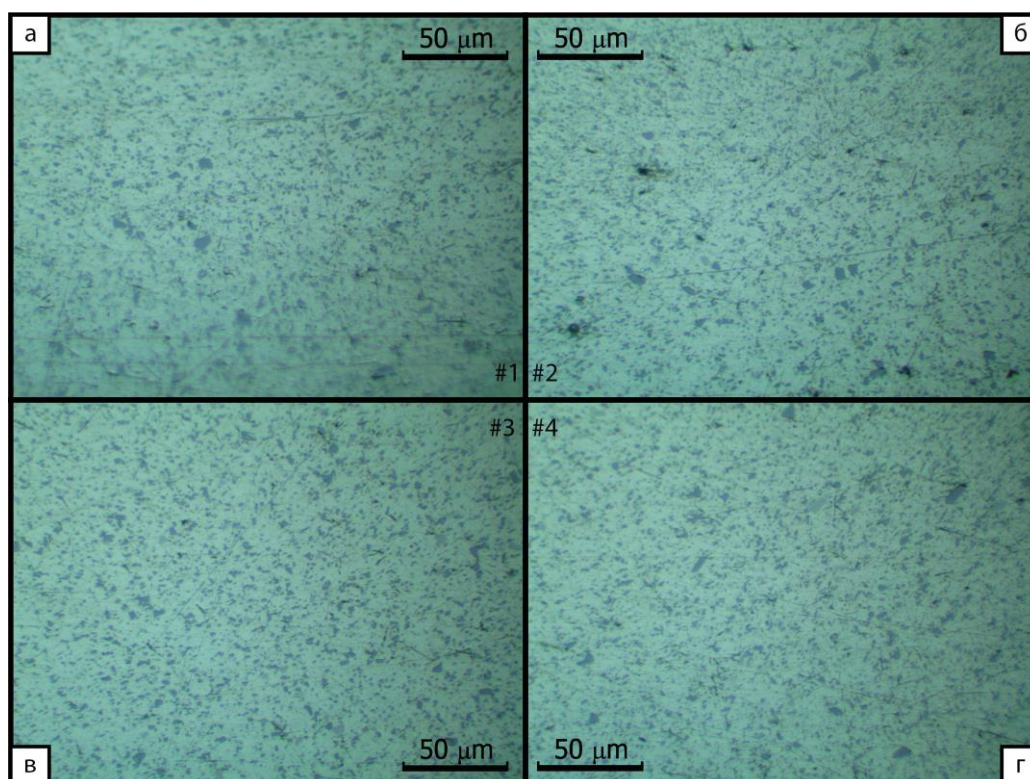


Рисунок 25 – Структура зоны перемешивания сплава АК9,  
после 1-4-х проходов инструмента  
образец 7



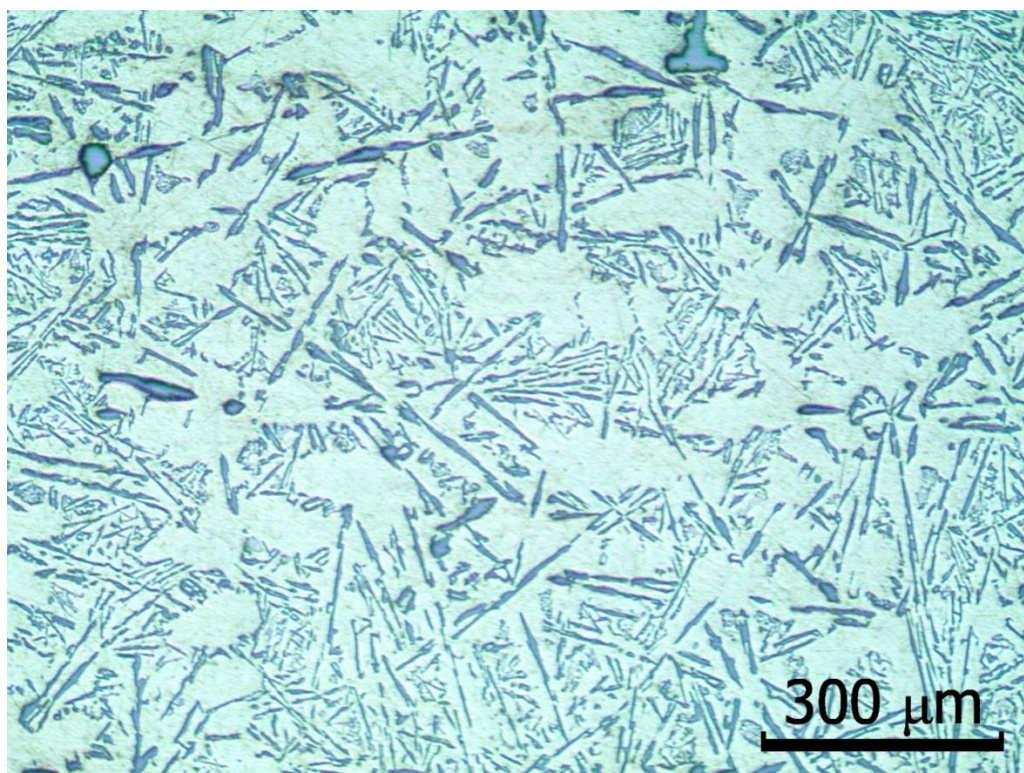


Рисунок 26 – Структура основного металла АК12,  
образец 12, увеличение  $\times 100$

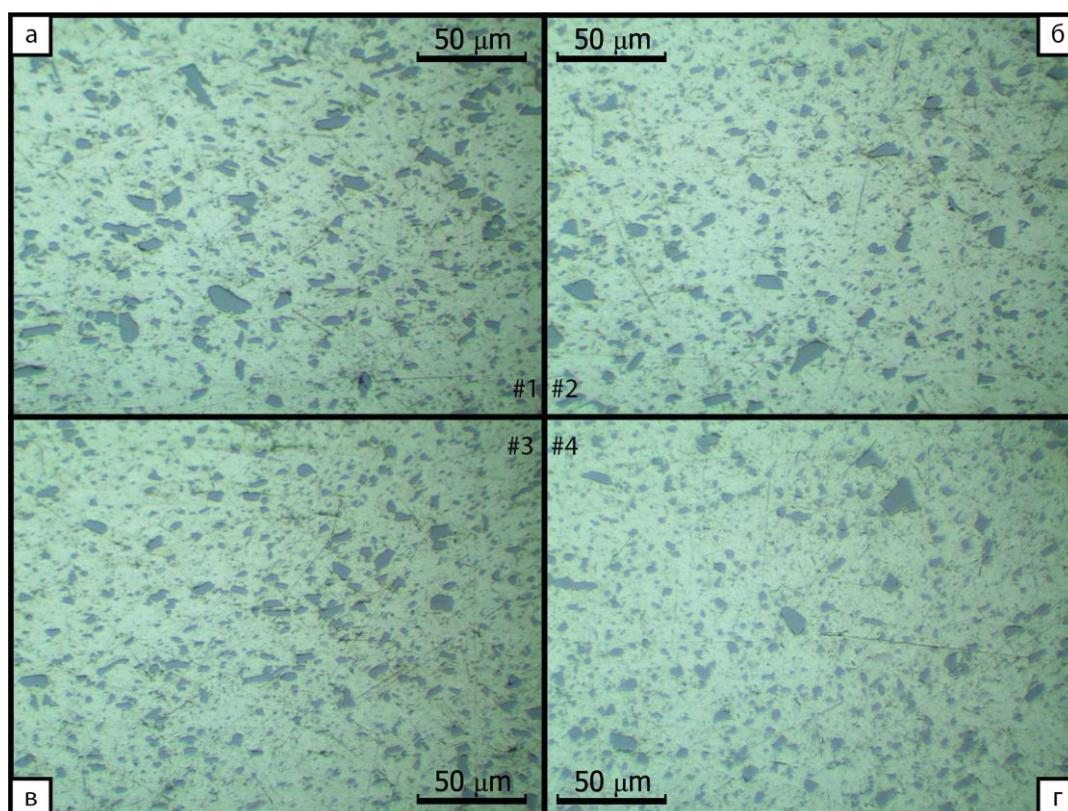


Рисунок 27 – Структура зоны перемешивания сплава АК12,  
после 1-4-х проходов инструмента  
образец 12



Рассмотрим сплав АК12 в который добавили 5% порошка титана ПТМ-2, средний размер частиц которого 45мкм.

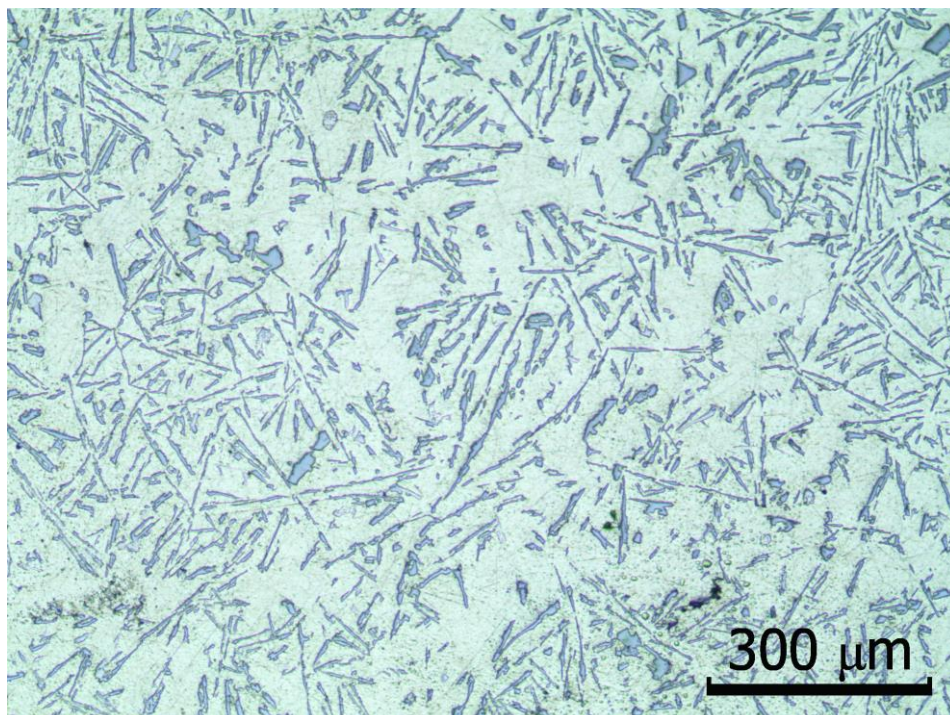


Рисунок 28 – Структура основного металла АК12 (+5%Ti), образец 6, увеличение x100

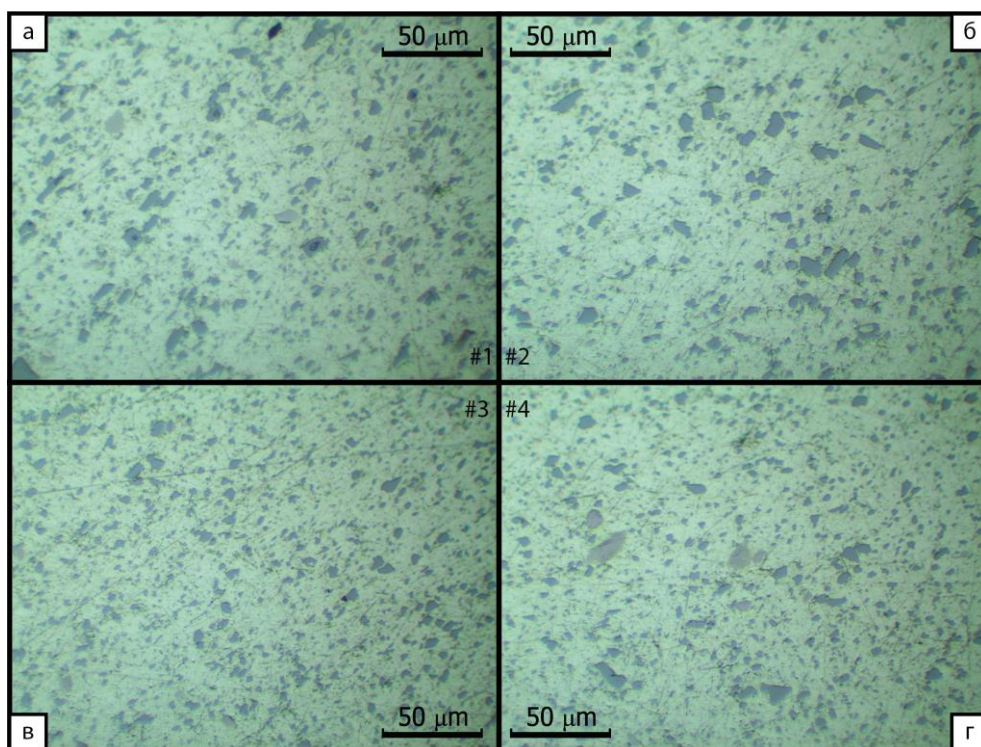


Рисунок 29 – Структура зоны перемешивания сплава АК12 (+5%Ti), после 1-4-х проходов инструмента  
образец 6

В результате анализа данных образцов можно сделать вывод, что метод оптической микроскопии не подходит для исследования влияния внедрения порошков титана в сплав АК12, необходимо использовать методы растровой электронной микроскопии совместно с энергодисперсионным анализатором химического состава.

## 2.6 Исследования механических характеристик полученных образцов

Экспериментальное исследование механических характеристик производилось в «Институте физики прочности и материаловедения». Серия экспериментов включала испытания образцов прямоугольного сечения в условиях статического растяжения, поперечное сечение образцов 2,5 мм. Испытания на растяжение проводилось на универсальной разрывной машине УТС-110М. В процессе испытаний проводилась запись диаграммы растяжения с определением временного сопротивления при разрыве  $\sigma_B$ , условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$  и относительного удлинения после разрыва  $\delta$ .

Влияние режимов FSP, типа применяемого инструмента, а так же влияние содержания порошка титана в зону обработки оценивали по следующим механическим характеристикам:

- временное сопротивление  $\sigma_B$ , МПа;
- предел текучести условный  $\sigma_{0,2}$ , МПа;
- относительное удлинение после разрыва  $\delta$ , %.

Полученные диаграммы зависимостей «напряжение-деформация» образцов после обработки справа АК12 представим в виде рисунков 30 - 34:

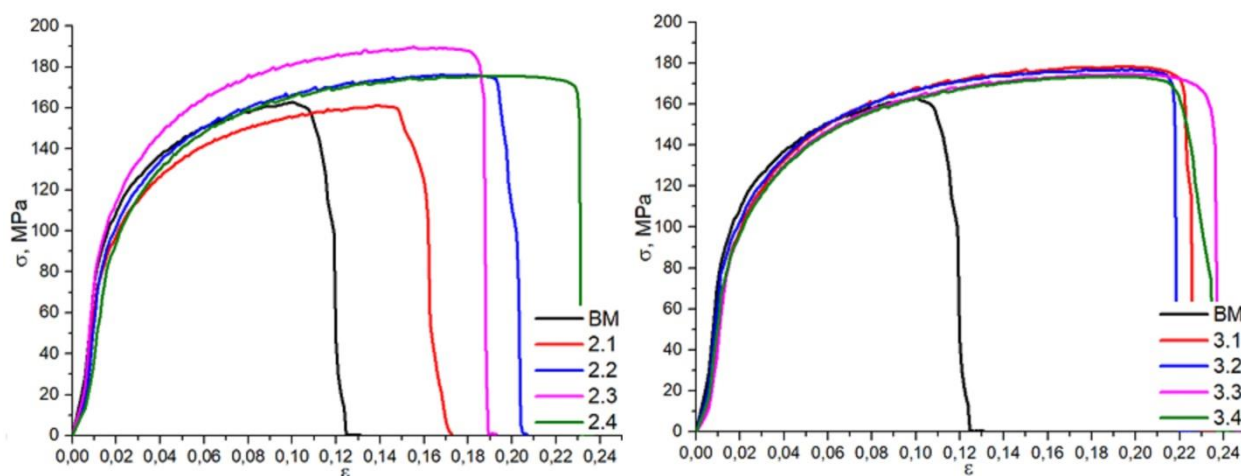


Рисунок 30 – Сплав АК12 обработан по 2 и 3 режиму



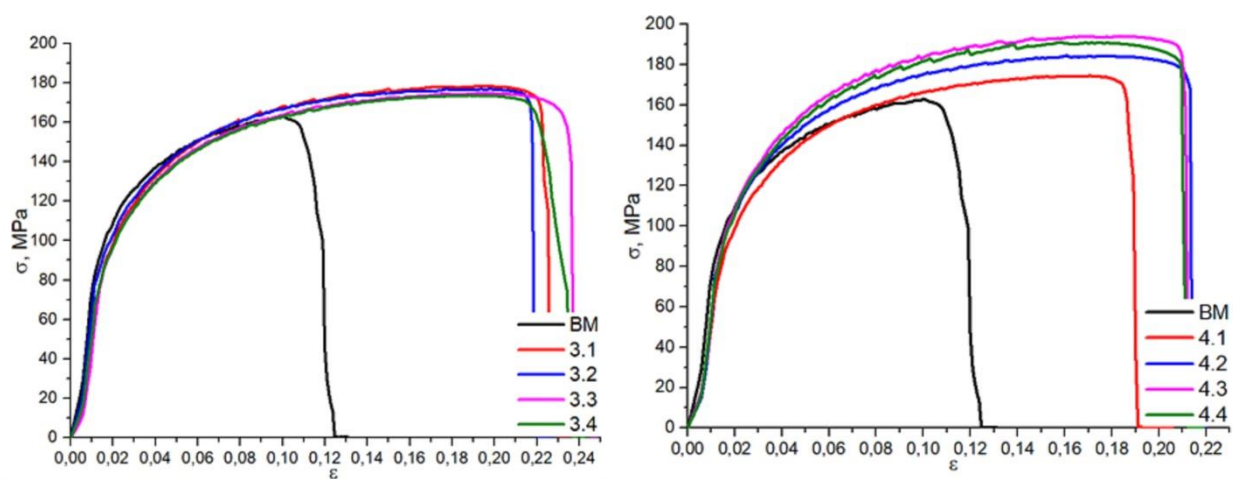


Рисунок 31 – Сплав АК12 обработан по 3 и 4 режиму

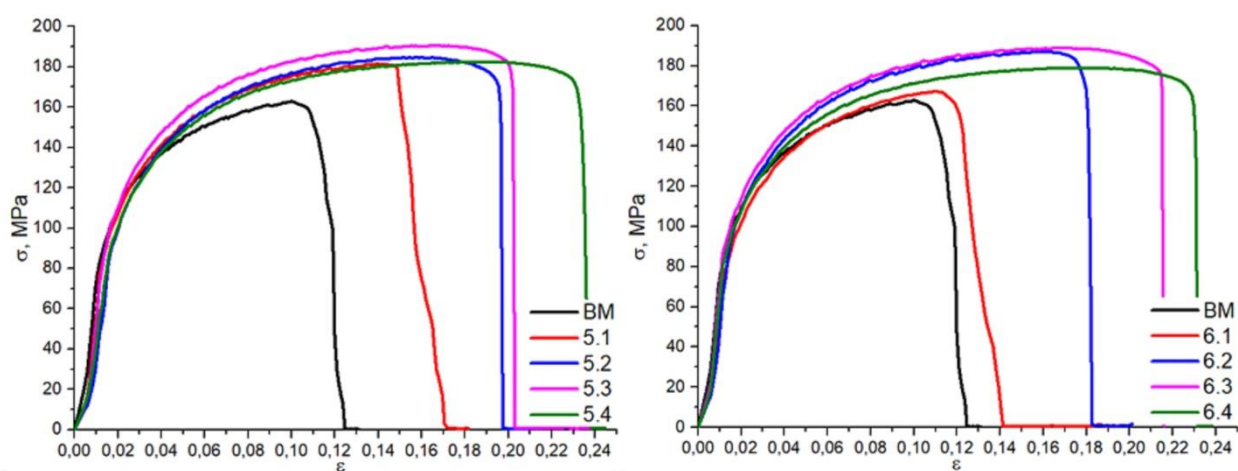


Рисунок 32 – Сплав АК12 обработан по 5 и 6 режиму

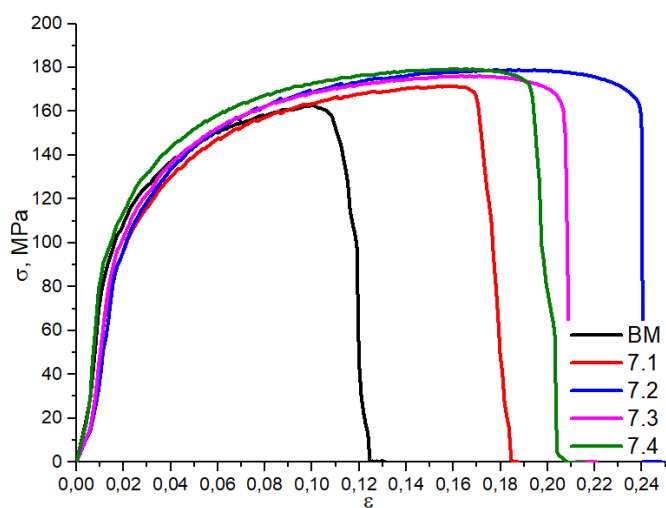


Рисунок 33 – Сплав АК12 обработан по 7 режиму

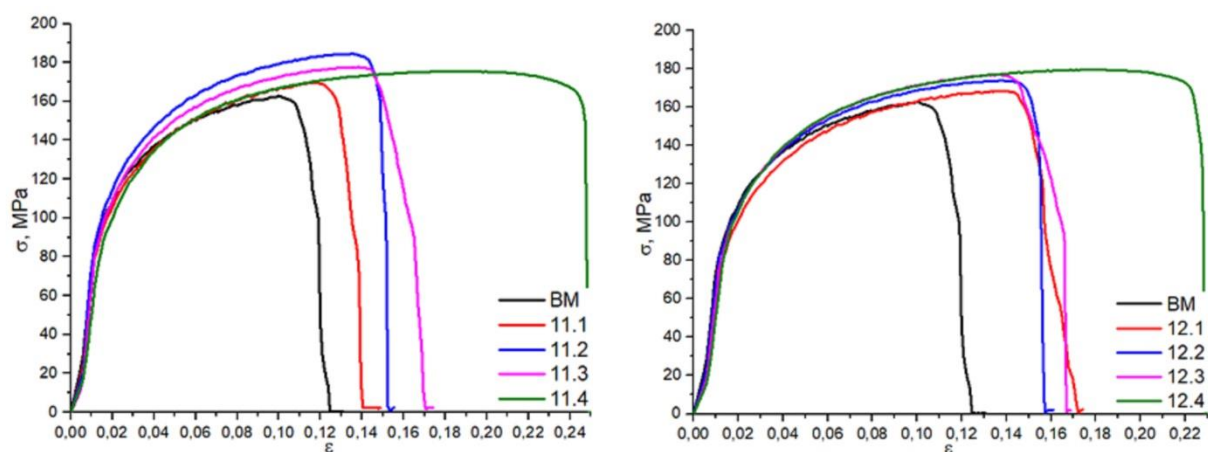


Рисунок 34 – Сплав АК12 обработан квадратным инструментом по 11 и 12 режимам

На представленных диаграммах ВМ – образец не подверженный обработке X.1; X.2; X.3; X.4 – образцы подверженные FSP, где X – номер образца; 1÷4 – количество проходов инструмента.

Проанализировав полученные диаграммы можно установить следующее: Деформация имеет упругую часть, плавно переходящую в стадию пластического течения, а после нее в стадию разрушения, происходящая в основном одномоментно при достижении предела прочности. В образцах после 3-4 проходов появляется небольшая стадия с плавно убывающим нагружающим усилием, что свидетельствует о росте пластичности в материале и образовании шейки перед разрушением. Пластичность полученных образцов увеличивается до 2,5 раз. Предел прочности при этом увеличивается не значительно, не более 9 – 10% по сравнению с основным металлом.

Далее представим диаграммы зависимостей «напряжение-деформация» образцов после обработки с введением 0,5%÷5% порошка титана ПТМ-2 в сплав АК12 представим в виде рисунков 35 - 37:

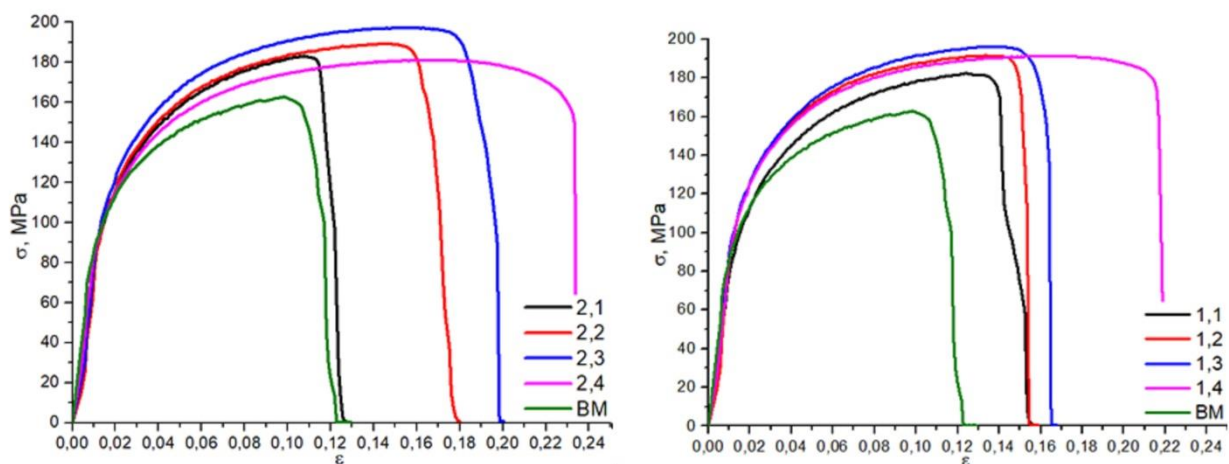


Рисунок 35 – Сплав АК12 с введением 0,5 и 1,0% порошка титана

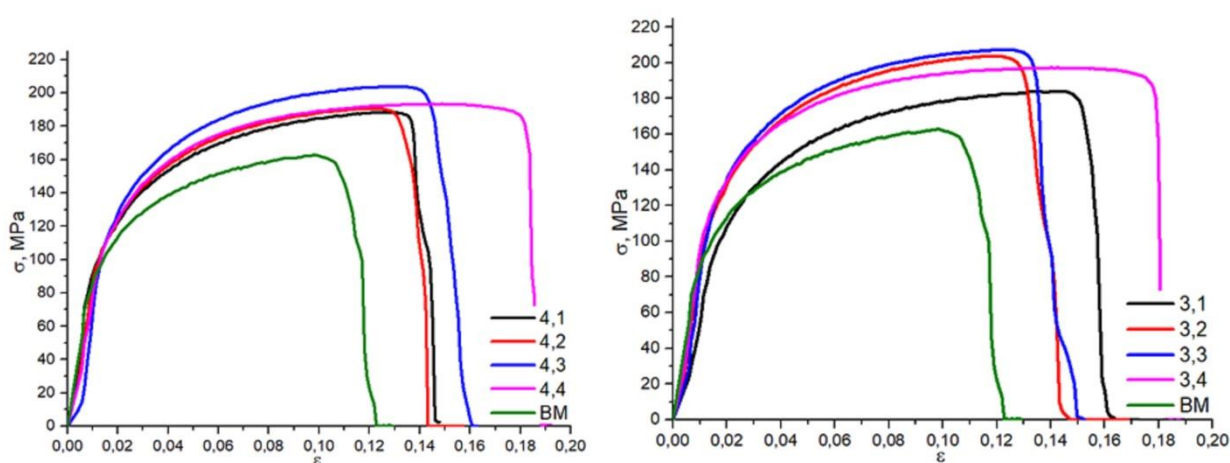


Рисунок 36 – Сплав АК12 с введением 1,5 и 2,0% порошка титана

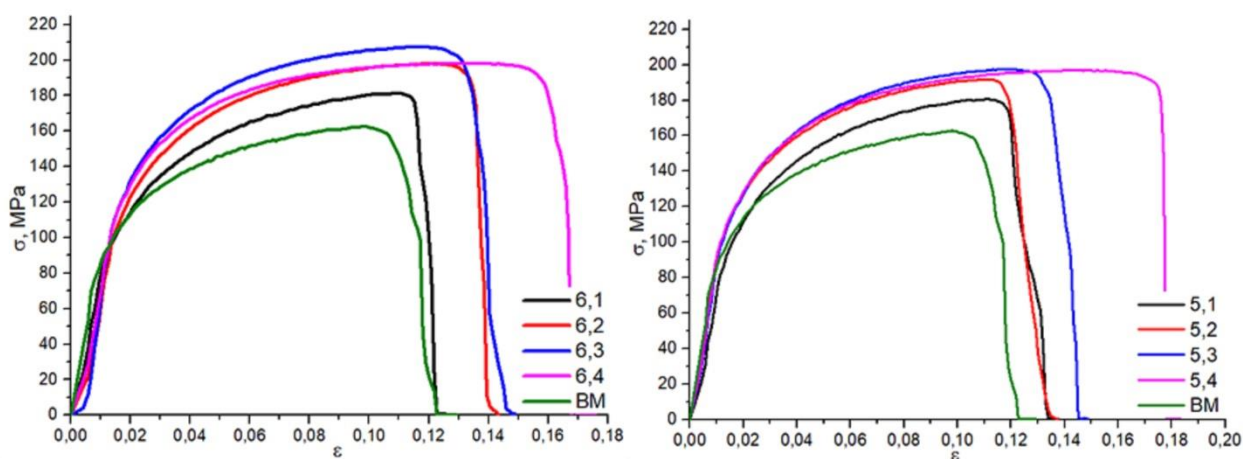


Рисунок 37 – Сплав АК12 с введением 2,5 и 5,0% порошка титана

Пластичность образца с введением 0,5% Ti при четырехпроходной обработке увеличивается в 2 раза, дальнейшее увеличение % содержания частиц порошка Ti в зоне обработки отрицательно влияет на увеличение пластичности (чем больше % содержание Ti, тем меньше увеличивается

пластичность в процессе FSP). Предел прочности при этом увеличивается до 30% (образцы 3 (1% Ti) и 6(2,5% Ti)).

Далее на рисунках 38 – 40 представлены диаграммы зависимостей «напряжение-деформация» образцов после обработки сплава АК9.

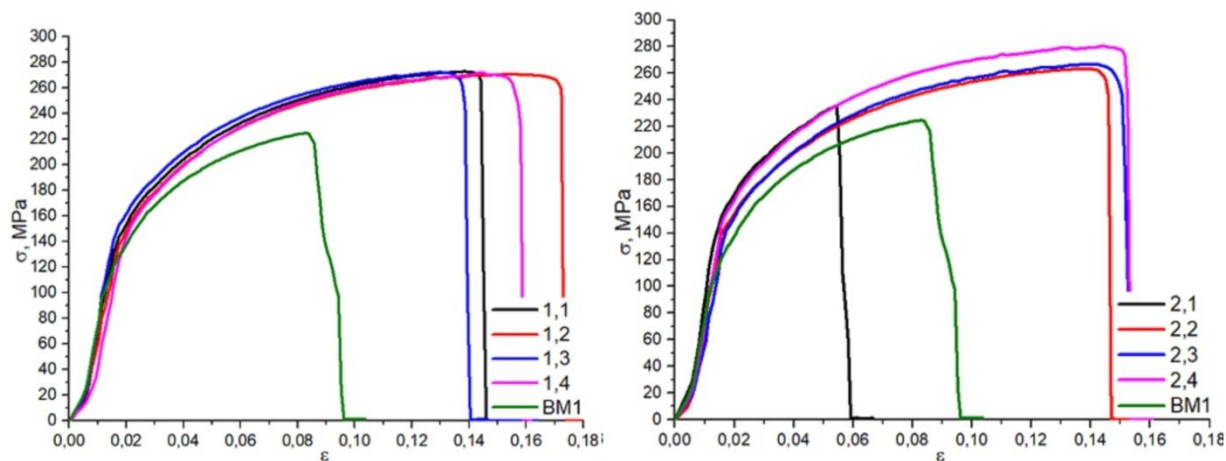


Рисунок 38 – Сплав АК9 обработан по 1 и 2 режиму

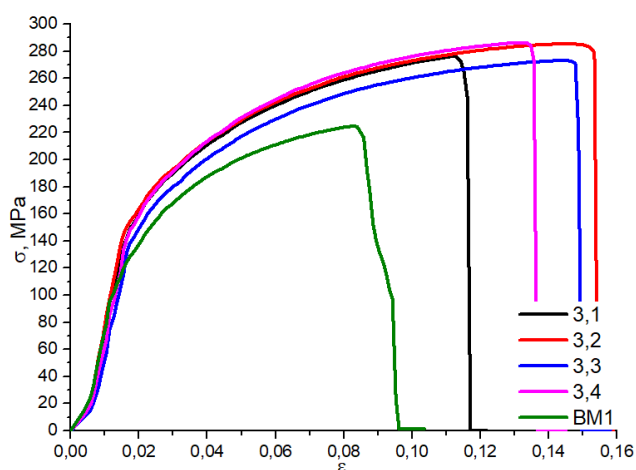


Рисунок 39 – Сплав АК9 обработан по 3 режиму

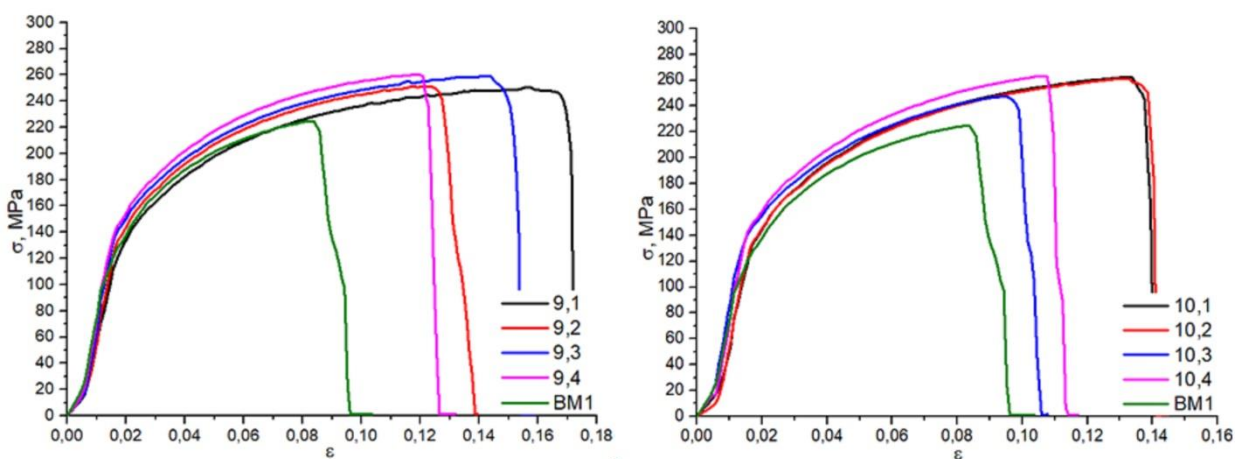


Рисунок 40 – Сплав АК9 обработан квадратным инструментом по 9 и 10 режиму

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что пластичность полученных образцов увеличивается до 2 крат (образец 1), образцы 9 и 10 показали 15% увеличение пластичности. Предел прочности при этом увеличивается до 25% (образец 9) и 35% (образец 3) по сравнению с основным металлом. Предел прочности при этом повышается на величину до 35% от основного металла.

### **3. Обсуждение результатов исследований**

#### **3.1 Обсуждение результатов исследования структурных характеристик**

В ходе лабораторного исследования было выявлено что в зоне перемешивания происходит изменение исходной структуры материала, происходит активное перемалывание вытянутых пластин кремния. Исходный материал имеет крупнодендритное строение. После однократной обработки форма частиц становится близкой к равноосной, процентное изменение поперечного сечения частиц составляет до 40%, средний размер зерен для сплава АК12 составил: 4,978 мкм; для сплава АК9: 3,061 мкм. Далее после второго и третьего прохода размер измельчается с меньшей интенсивностью, средний размер зерен для АК12 составляет: 4,575 мкм; для сплава АК9: 2,735 мкм. На последнем этапе, после четырех проходов инструмента, средний размер частиц для АК12 равен 4,221 мкм; для АК9 равен 2,524 мкм. Можно предположить, что после дробления первым проходом вытянутых пластин кремния в алюминиевой матрице, на дальнейших этапах измельчение уже близких к равноосным частиц является затруднительным, так как алюминиевая матрица обладает существенно большей пластичностью и меньшей твердостью по сравнению с кремниевыми частицами, которые при перемешивании не встречают достаточного сопротивления для разрушения и измельчаются только локальным скалыванием по поверхности.

Исходная заготовка (до обработки) включала в себе большое количество пор. В ходе проведения экспериментов было отмечено, что в материале зоны перемешивания отсутствуют поры. В структуре зоны перемешивания не было обнаружено наличие дефектов, трещин или расслоений.

## **3.2 Обсуждение результатов исследования**

### **механических свойств**

В ходе механических испытаний образцов, полученных обработкой трением с перемешиванием, выявлены особенности протекания пластической деформации в зависимости от режимов обработки. В ходе проведения исследования было выявлено, что пластичность образцов подверженных FSP увеличивается до 2,4 раз; образцы модифицированные порошком титана показали аналогичное увеличение пластичности до 2,4 раз (образец с добавлением 0,5% Ti), с дальнейшим увеличением процентного соотношения титана в зоне обработки пластичность снижается. Предел прочности исходных образцов составил 162,5 МПа, образцы модифицированные FSP показали различное изменение своих характеристик, это связано с различными режимами обработки. Минимальное изменение предела прочности составило ~ 12,5 МПа, максимальное ~ 30 МПа. При внедрении порошков титана в зону обработки предел прочности на разрыв образцов увеличивается до 20 МПа, по сравнению с образцами упрочненными FSP. Образец с 0,5% Ti показал незначительное увеличение прочности, по сравнению с не модифицированными образцами (увеличение около 2,5 МПа).

## **Заключение**

В ходе выполнения магистерской диссертации был произведен ряд экспериментальных исследований, посвященных обработке трением с перемешиванием сплавов АК12 и АК9.

В ходе изучения влияния процесса FSP на механические свойства и структурные характеристики сплава АК12 было отмечено увеличение пластичности до 2,5 крат по сравнению с исходной литой структурой, обусловленное измельчением пластин кремния при обработке. При внедрении порошковых частиц титана в процессе FSP сплава АК12 было выявлено увеличение предела прочности на величину до 20% по сравнению с исходным сплавом. FSP алюминиевого сплава АК9 позволяет повысить прочность сплава на величину до 35%, а пластичность до 2,5 крат. Таким образом, FSP положительно влияет на механические свойства и структуру алюминиево-кремниевых сплавов, позволяя при минимальных затратах увеличить механические и эксплуатационные характеристики готовых изделий.

Данная работа является первоначальной ступенью для дальнейших исследований, далее планируется произвести определение влияния FSP на трибологические характеристики алюминиево-кремниевых сплавов, получить композиты на основе сплавов АК7, АК9 и АК12, в том числе с введением при обработке порошковых частиц титана, железа и никеля.



**4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,  
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM9K	Индоиту Даниле Витальевичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа новых производственных технологий	<b>Отделение Школа</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

**Перечень графического материала**

Оценка конкурентоспособности ИП Матрица SWOT Диаграмма Ганта Бюджет НИ Основные показатели эффективности НИ
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		22.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич		22.02.21

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Умение рационально и эффективно использовать ресурсы является неотъемлемой частью ресурсоэффективности и ресурсосбережения финансового менеджмента.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение» является модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данной исследовательской работы было получение композиционных материалов на базе алюминиевого сплава АК12, путем внедрения порошков титана, с целью получения алюминидов титана в приповерхностной структуре.

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Большинство деталей машин работают в условиях изнашивания, кавитации, циклических нагрузок, коррозии при криогенных или высоких температурах, при которых максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла, где сосредоточены основные концентраторы напряжения. Фрикционная перемешивающая обработка алюминиевых

сплавов используется длительное время для повышения прочности структуры с целью повышения механических и эксплуатационных характеристик готовых изделий.

Прочность – способность материалов сопротивляться пластической деформации и разрушению под действием внешних нагрузок.

При сохранении достаточно высокой пластичности, вязкости и трещиностойкости данные методы повышают надёжность и долговечность машин и деталей любой сложности и понижает расход металла на их изготовление вследствие уменьшения сечения деталей.

Механические свойства деталей улучшаются пластической деформацией или поверхностным наклёпом. Эти методы широко используются в многих видах промышленности для повышения сопротивляемости малоцикловой и многоцикловой усталости деталей машин.



Рисунок 41 - Потенциальные потребители.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Основным конкурентом для повышения эксплуатационных характеристик за счет упрочнения поверхностного слоя металла является высокоскоростное газопламенное напыление.

Газопламенное напыление – метод нанесения специального покрытия на поверхность с целью получения дополнительных качеств. В качестве распыляемого материала используют металлические или полимерные порошки. Их нагревают до пластичного состояния с помощью пламени, которое формируется при сгорании смеси кислорода с пропаном или ацетиленом. Перенос на поверхность металла осуществляется с помощью сжатого воздуха.

Преимуществом является:

- 1) В процессе обработки заготовка не подвергается тепловой деформации и не меняет своих параметров;
- 2) С помощью установок для газопламенного напыления можно обрабатывать заготовку различными составами. Это позволяет придавать поверхности различные свойства без замены оборудования;
- 3) Простота рабочего оборудования и его мобильность дает возможность применения газопламенного напыления в труднодоступных местах.;
- 4) Низкая себестоимость обработки. Лучше всего эффект проявляется при газопламенном напылении больших площадей.;
- 5) Большая толщина покрытия позволяет использовать метод для реставрации различных деталей. Припуск под обработку не превышает 0,7 мм.;
- 6) Благодаря широкому выбору присадочных материалов можно получить изделие с заданными свойствами, не прибегая к прочим методам модификации поверхности.

Основным минусом является:

- 1) Газопламенное напыление малоэффективно при обработке мелких деталей. Это связано с высоким коэффициентом расхода присадочного материала;
- 2) Тяжелые условия производства. Для предварительной подготовки изделия выполняют пескоструйную обработку, что приводит к повышенному уровню запыленности рабочего участка.
- 3) В процессе напыления мелкие частицы состава остаются в воздухе. По этой причине к производственным помещениям предъявляют повышенные требования по системе вентиляции;

Таблица 14 - Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,20	5	5	1	0,4
Удобство эксплуатации	0,13	4	5	0,52	0,39
Простота эксплуатации	0,05	3	4	0,15	0,05
Энергоэкономичность	0,03	3	2	0,09	0,06
Надежность	0,07	4	2	0,28	0,14
Уровень шума	0,11	2	2	0,22	0,11
Безопасность	0,15	4	3	0,6	0,45
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,07	5	4	0,35	0,28
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,2
Цена	0,05	3	2	0,15	0,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,08
Итого:	1	45	24	3,92	3,48

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальности исследования, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i + B_i = (0,2 \cdot 5) + (0,13 \cdot 4) + (0,05 \cdot 3) + (0,03 \cdot 3) + (0,07 \cdot 4) + (0,11 \cdot 2) + (0,15 \cdot 4) + (0,07 \cdot 5) + (0,1 \cdot 1) + (0,05 \cdot 3) + (0,04 \cdot 4) = 3,92$$

где:  $K$  – конкурентоспособность проекта;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 15

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strength) и слабых (W – weakness) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – troubles) внешней среды.

Таблица 15 - Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. Имеет преимущества, когда необходимо смешать два материала	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Минимальное количество используемого оборудования	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Может использоваться для улучшения микроструктурных свойств металлических порошковых объектов	Сл3. Вероятность получения брака;
С4. Низкие потери при работе.	
С5. Экологичность технологии.	



Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
В1. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У1. Отсутствие прототипа научной разработки;
В2. Технология твердотельной обработки с одностадийной обработкой, которая обеспечивает микроструктурное уточнение, уплотнение и однородность	У2. Вероятность структурообразования составов;
В3. Быстрое внедрение в производство	У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 16, 17.

Таблица 16 - Интерактивная матрица проекта  
«Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	-	-
	B2	-	-	-	+	+
	B3	+	+	+	-	-

Таблица 17 - Интерактивная матрица проекта  
«Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	-	+
	B3	-	+	-

Таблица 18 - Интерактивная матрица проекта  
«Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	+
	У3	-	+	+	-	-

Таблица 19 - Интерактивная матрица проекта  
«Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 20.

Таблица 20 - Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Низкие потери при работе.</p> <p>С2. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>С3. Высокая работоспособность изделия, упрочненным данным методом;</p> <p>С4. Улучшение свойств обрабатываемой поверхности;</p> <p>С5. Снижение себестоимости изделия</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Вероятность получения брака;</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Освоение новых материалов покрытия.</p> <p>В2. внедрения технологии в производство за счет варьирования состава;</p> <p>В3. Возможность участие в грантах, для повышения производительности изделия;</p>	<p>В1С1</p> <p>В2С4С5</p> <p>В3С1С2С3</p>	<p>В1Сл1</p> <p>В2Сл3</p> <p>В3Сл2</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>У2. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>	<p>У1С1</p> <p>У2С2С4С5</p> <p>У3С2С3</p>	<p>У1Сл2</p> <p>У2Сл1Сл3</p> <p>У3Сл2</p>

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками.

Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования и дальнейшее совершенствование отдельных узлов.

Основные преимущества данного проекта – универсальность, высокая производительность и возможность создания оптимальных условий формирования поверхностного упрочнения.

Но не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не усовершенствована технология упрочнения не до конца отработана, поэтому возникают некоторые трудности при получении заданных характеристик.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 21 – Перечень этапов,  
работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (3.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (3.4)$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные показатели  
проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг\ i}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения НИР	2	3	3	4	2,4	3,4	2,9	5
3. Обзор научной литературы	-	6	-	9	-	7,2	7,2	11
4. Выбор методов исследования	-	1	-	4	-	2,2	2,2	4
5. Планирование эксперимента	1	5	3	6	1,8	5,4	7,2	11
6. Подготовка материалов	-	4	-	7	-	5,2	5,2	8
7. Проведение эксперимента	-	11	-	16	-	13	13	20
8. Обработка полученных данных	-	7	-	10	-	8,2	8,2	13
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	3	4	2,4	3,4	2,9	5
10. Составление пояснительной записки	-	9	-	12	-	10,2	10,2	15
Итого	7	49	13	68	9,4	58,2	61,8	96

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.



На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 23).

Таблица 23 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ оп.	Вид работы	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , день	Продолжительность выполнения работ			
				Февраль	Март	Апрель	Май
01	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4				
02	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	5				
03	Обзор научной литературы	Исп2	11				
04	Выбор методов исследования	Исп2	4				
05	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	11				
06	Подготовка материалов	Исп2	8				
07	Проведение эксперимента	Исп2	20				
08	Обработка полученных данных	Исп2	13				
09	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	15				

Примечание: Научный руководитель

- Инженер

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

### **4.3 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затраты всех материалов, для получение композиционных материалов на базе алюминиевого сплава АК12, путем внедрения порошков титана

Таблица 24 – Затраты на получение композиционных материалов на базе алюминиевого сплава АК12, путем внедрения порошков титана

Наименование статей расходов	Единица измерения	Количество	Цена за ед.(кг), руб.	Итого затраты, руб.
Полосы 300х60х5 АК9	шт	5	45	225
Полосы 300х60х5 АК12	шт	7	42,8	300
Порошок Ti	кг	0,2	5500	1100
Наушники с шумоподавлением	шт	1	400	400
Очки защитные ударопрочные	шт	1	90	90
<b>Итого:</b>				2115

### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3.5)$$

где  $n$ – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (3.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 25 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	использования,	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Электроэрозионный станок ДК7750	1	10	0,12	10	1 500 000	1500
2	Оборудование для сварки трением с перемешиванием Сеспель	1	15	0,12	7	10 000 000	7000
3	ПЭВМ	1	5	4	20	25000	1 667
Итого:		10 167					

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (3.7)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 3.13).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{52\,650 \cdot 10,3}{261} = 2\,077,8 \text{ руб.}, \quad (3.8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{30\,322,5 \cdot 11,2}{243} = 1\,397,6 \text{ руб.}, \quad (3.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 27\,000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 52\,650 \text{ руб.}, \quad (3.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 15\,550 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 30\,322,5 \text{ руб.} \quad (3.11)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 26 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	52/5	18/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	261	243

Таблица 27 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$	$K_{np}$	$K_d$	$K_p$	$Z_m$	$Z_{дн}$	$T_{раб}$	$Z_{осн}$
Руководитель	27 000	1,2	1,1	1,3	52 650	2 077,8	9,4	19 531,3
Инженер	15 550	1,2	1,1	1,3	30 322,5	1 397,6	58,2	81 340,3
<b>Итого:</b>								<b>100 871,6</b>

#### 4.3.4 Дополнительная заработная

##### плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 19\,531,3 = 2\,929,7 \text{ руб.}, \quad (3.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 81\,340,3 = 12\,201,1 \text{ руб.}, \quad (3.13)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Таблица 28 - Расчет дополнительной заработной платы

	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	19 531,3	2 929,7
Инженер	81 340,3	12 201,1
<b>Итого</b>		<b>15 130,8</b>

### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.14)$$

где:  $K_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (100\,871,6 + 15\,130,8) = 34\,800,7 \text{ руб}$$

### 4.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (3.15)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 163\,085,1 = 26\,093,6 \text{ руб}$$



#### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проведения исследований. Все данные сведены в таблицу 29

Таблица 29 - Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма,руб	
	Текущий проект (Упрочнение)	Аналог (Газопламенное напыление)
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	2 115	1 635
Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ	10 167	23 450,1
Основная заработная плата	100 871,6	100 871,6
Дополнительная заработная плата	15 130,8	15 130,8
Отчисления на социальные нужды	34 800,7	34 800,7
Накладные расходы	26 093,6	28 142,1
Итоговая плановая себестоимость	189 178,7	204 030,3

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

##### 4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Определим значения показателя для разрабатываемой технологии и аналогов, приведенных в пункте 3.1.1 данной работы.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.16)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 189\,178,7$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 204\,030,3$  руб,  $\Phi_{\text{max}} = 319\,400,8$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{189\,178,7}{319\,400,8} = 0,59$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{204\,030,3}{319\,400,8} = 0,64$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки проектируемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Рыночная цена данного метода упрочнения на рынке 319 400,8 руб.

Разрабатываемая технология подразумевает уменьшение количества отходов и количества комплектующих.

**4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 30).

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

<b>Объект исследования</b>  <b>Критерии</b>	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Исп.2</b>
1. Безопасность при использовании установки	0,25	4	4
2. Стабильность работы	0,25	5	4
3. Удобство в эксплуатации	0,3	5	3
4. Энергосбережение	0,1	4	5
5. Материалоёмкость	0,1	5	3
ИТОГО	1	4,65	3,7

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,65$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 3,7$$

#### 4.4.3 Интегральный показатель

##### эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}}. \quad (3.17)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,59} = 7,9, \quad I_{исп.2} = \frac{3,7}{0,64} = 5,8$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (3.18)$$

$$\mathcal{E}_{cp.1} = \frac{7,9}{7,9} = 1, \quad \mathcal{E}_{cp.2} = \frac{5,8}{7,9} = 0,7$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 31).

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	0,64
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	7,9	5,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7

## **Заключение по разделу финансовый менеджмент**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1) Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2) В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 96 день; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 58,2 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 9,4 дней;

3) Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 189 178,7руб;

4) Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

- значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,59, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами;
- значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,7;
- значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 7,9, по сравнению с 5,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является поверхностное упрочнение и модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов (АК9, АК12) методом фрикционной перемешивающей обработки. Исследованы характеристики упрочненных сплавов методом FSP(микроструктура, размер частиц кремния и т.п.). Исследование проводилось на базе лаборатории физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН. Область применения: порошковая металлургия.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</li> <li>– Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст].</li> <li>– Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с;</li> <li>– Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78;</li> <li>– Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ должны обеспечиваться в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21;</li> <li>– средства пожаротушения предусматриваются согласно требованиям противопожарной безопасности по СнИП 21.01. -97;</li> <li>– Использование электрических приборов осуществляются в соответствии с ГОСТ Р 52084-2003.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</li> <li>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Превышение уровня шума</li> <li>2. Вредные вещества</li> <li>3. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>5. Опасность поражения электрическим током</li> <li>6. Движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ воздействия объекта на окружающую среду (сбросы, выбросы, отходы);</li> <li>– Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков, взрывоопасностью и пожароопасностью некоторых материалов и газов;</li> <li>- Разработка мероприятий по сокращению негативного воздействия на окружающую среду</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее вероятная ЧС – возникновение пожара, вследствие использования электрического оборудования.



Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.21
--	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич		

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Данный раздел посвящен обеспечению безопасных условий труда, при проведении научных исследований, цель которых была направлена на упрочнение и модификацию структуры алюминиевых сплавов АК9 и АК12. Данные исследования проводились в лаборатории физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН.

Упрочнение и модификация алюминиевых сплавов осуществлялась методом фрикционной перемешивающей обработки. Потенциально данный вид обработки имеет широкие перспективы для формирования износостойких поверхностных структур и получения легких деталей триботехнического назначения. Различия в полученных образцах достигались посредством использования различных инструментов, режимов обработки, а так же дополнительно в упрочняемую зону внедряли порошковые частицы титана в различном процентном соотношении

В ходе подготовки экспериментальных данных были произведены работы за различным оборудованием: оборудование для сварки трением с перемешиванием (СЕСПЕЛЬ); универсальная испытательная машина (разрывная машина: УТС-110М-50-1У); электроэрозионный станок ДК7750; микроскоп Альтами МЕТ1С.

### **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В данном подразделе необходимо рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства. Необходимо указать особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта.

### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ст. 37 Конституции Российской Федерации каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены. Однако многие работники по ряду причин вынуждены трудиться на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда, т. е. не отвечающих требованиям выше названной статьи.

Работнику, занятому в таких условиях, должны полагаться различного рода компенсации, которые в той или иной мере уменьшают вред, наносимый его здоровью, или помогают его восстановлению.

Перечислим компенсации, на которые имеют право работники.

1. Оплата труда работников, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, устанавливается в повышенном размере по сравнению с тарифными ставками, окладами (должностными окладами), предусмотренными в отношении различных видов работ с нормальными условиями труда (ст. 147 ТК РФ).

2. Продолжительность рабочего времени работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, не может превышать 36 часов в неделю (ст. 92 ТК РФ).

3. Работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда (на работах, связанных с неблагоприятным воздействием на здоровье человека вредных физических, химических, биологических и иных факторов) предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск (ст. 117 ТК РФ).

4. Работники, занятые на тяжелых работах и работах с вредными и (или) опасными условиями труда (в т. ч. на подземных работах), а также на работах, связанных с движением транспорта, должны проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (ст. 213 ТК РФ).

5. На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются сертифицированные специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты (далее – СИЗ), а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами (ст. 221 ТК РФ).

6. На работах с вредными условиями труда работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты. Их выдача работникам по письменным заявлениям последних может быть заменена компенсационной выплатой в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, если это предусмотрено коллективным договором и (или) трудовым договором. На работах с особо вредными условиями труда работникам предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание (ст. 222 ТК РФ).

7. В соответствии с пенсионным законодательством работники, проработавшие в особых условиях определенный период времени, пользуются правом на досрочный выход на пенсию по возрасту (ст. 27, 28 Федерального закона от 17.12.2001 № 173-ФЗ «О трудовых пенсиях в Российской Федерации»; далее – Закон № 173-ФЗ).

## **5.2 Профессиональная социальная безопасность**

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на рабочих, опасных производственных факторов до приемлемого уровня. Для определения опасных факторов воспользуемся классификацией опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-2015. Проанализировав опасные и вредные факторы которые присутствуют в ходе лабораторных исследований, представим в виде таблицы 32 перечень опасных и вредных факторов.

Таблица 32 – Опасные факторы  
и методы их предупреждения

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СанПиН 2.2.4.548–96
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	Уровень шума на рабочих местах. СН 2.2.4/2.1.8.562–96
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Свод правил естественное и искусственное освещение СП 52.13330.2016
4. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Свод правил естественное и искусственное освещение СП 52.13330.2016
5. Опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через человека	+	+	+	Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
6. Опасные и вредные производственные факторы связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (с аэрозольным составом воздуха)	-	+	-	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003

### **5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве**

Произведем анализ вредных и опасных факторов:

1. Состояние здоровья человека, его работоспособность в значительной степени зависят от микроклимата на рабочем месте. Микроклиматом производственных помещений называют климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. При пребывании человека в оптимальных микроклиматических условиях сохраняется нормальное функционирование организма без напряжения механизмов терморегуляции. При этом ощущается тепловой комфорт, что приводит к высокому уровню работоспособности [36].

2. Шум – любой нежелательный звук, воспринимаемый органом слуха человека. Представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной интенсивности и частоты. Источником шума и вибрации является оборудование для сварки трением, электродвигатели различного оборудования.

Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах установлен СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляет 85 Дб [36].

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы целостного организма, вызывая разнообразные физиологические изменения.

Шум действует на организм как стресс-фактор, вызывает изменение звукового анализатора, а также, благодаря тесной связи слуховой системы с многочисленными нервными центрами на самом различном уровне, происходят глубокие изменения в центральной нервной системе.

Наиболее опасно длительное действие шума, при котором возможно развитие шумовой болезни - общего заболевания организма с

преимущественным поражением органа слуха, центральной нервной и сердечно - сосудистой систем.

3,4. Неправильное организованное освещение рабочих мест и рабочей зоны не только утомляет зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Недостаточное освещение, слепящие источники света и резкие тени от оборудования и других предметов притупляют внимание, вызывают ухудшение или потерю ориентации работающего, что может быть причиной травматизма. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве. При недостаточной освещенности сокращается время ясного видения — время, в течение которого глаз человека сохраняет способность различать рассматриваемый объект.

5. Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электродуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ 12.1.009-2017).

6. Вследствие производственной деятельности в воздушную среду помещений могут поступать разнообразные вредные вещества, которые используются в технологических процессах. Вредными принято считать вещества, которые при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений (ГОСТ 12.1.009-2017).

Производственная пыль достаточно распространенный опасный и вредный производственный фактор. Высокие концентрации характерны для машиностроения. Пыль может оказывать на человека фиброгенное воздействие, при котором в легких происходит разрастание соединительных тканей, которое нарушает нормальное строение и функцию органа. Вред производственной пыли обусловлен ее способностью вызывать

профессиональные заболевания легких, в первую очередь пневмокониозы [37]. В данном исследовании особо вредной работой является: работа с порошками титана.

### **5.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов**

Для минимизации вредных воздействий на организм необходимо принять следующие меры:

1. Для благоприятного микроклимата на рабочих участках необходимо их оборудовать кондиционерным оборудованием.

2. Для борьбы с шумом в лаборатории используются индивидуальные средства защиты (защитные наушники), а так же коллективные. К коллективным средствам защиты относятся акустические экраны, звукоизолирующие кожухи, так же применяют звукопоглощающие облицовки для технологического оборудования. В лаборатории используется зонирование, основной целью которого является отделение помещений с интенсивными источниками шума от малошумных помещений.

3, 4. Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям СНиП 23–05–95. Величина коэффициента естественного освещения (КЕО) для различных помещений лежит в пределах от 0,1 до 12%. Для местного освещения используют светильники, устанавливаемые на металлообрабатывающих станках, и отрегулированы так, чтобы освещённость была не ниже значений, установленных санитарными нормами. Так как освещенность, создаваемая естественным светом, изменяется в зависимости от времени дня, года, метеорологических факторов, то для поддержания постоянного уровня освещенности необходимо применять комбинированное освещение – естественное и искусственное. Искусственное общее освещение – лампы накаливания необходимо располагать в верхней зоне помещения и непосредственной близости рабочей зоны [41].



5. Для предотвращения поражения электрическим током все оборудование должно быть надежно заземлено, токоведущие провода и кабели необходимо изолировать. В электрических шкафах необходимо применять защитно - отключающие устройства. Недоступность токоведущих частей электроустановок необходимо обеспечить размещением их на необходимой высоте, оснастить ограждением от случайных соприкосновений.

6. Обеспечение чистоты воздуха в помещении достигается удалением загрязненного или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха, т.е. вентиляцией. В данной работе применяется обще обменная приточно-вытяжная вентиляция для участков где установлено оборудование.

#### **5.2.2.1 Анализ освещенности рабочей зоны**

Освещение исключительно важно для человека. С помощью зрения человек получает большую часть информации (около 90 %), поступающей из окружающего мира. Свет — это ключевой элемент нашей способности видеть, оценивать форму, цвет и перспективу окружающих нас предметов. Освещение влияет не только на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, но и на психику человека, его эмоциональное состояние. Исследователями накоплено значительное количество данных по биологическому действию видимого света на организм.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует через нервную оптико-вегетативную систему на эндокринную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

*Расчет искусственного освещения.* Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются люминесцентная лампа ШОД. ШОД - для нормальных помещений с

хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности.

Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в строительных нормах и правилах СП 52.13330.2016, выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.

При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СП 52.13330.2016 регламентируется максимальная искусственная освещенность рабочих мест.

Полученная из СП 52.13330.2016 величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность.

Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, при люминесцентных лампах  $KЗ = 1,5$ .

*Естественное освещение.* Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими главами СНиП на проектирование зданий и сооружений, нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке, а также помещения, размещение которых разрешено в подвальных этажах зданий и сооружений. Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое).

Нормированные значения КЕО (коэффициента естественной освещенности) для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле:

$$e_N = e_H m_N \quad (5.1)$$

где N - номер группы обеспеченности естественным светом;

$e_H$  - значение КЕО;

$m_N$  - коэффициент светового климата.

Следовательно, при  $e_H = 1$ ;  $m_N = 0,75$ ;

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

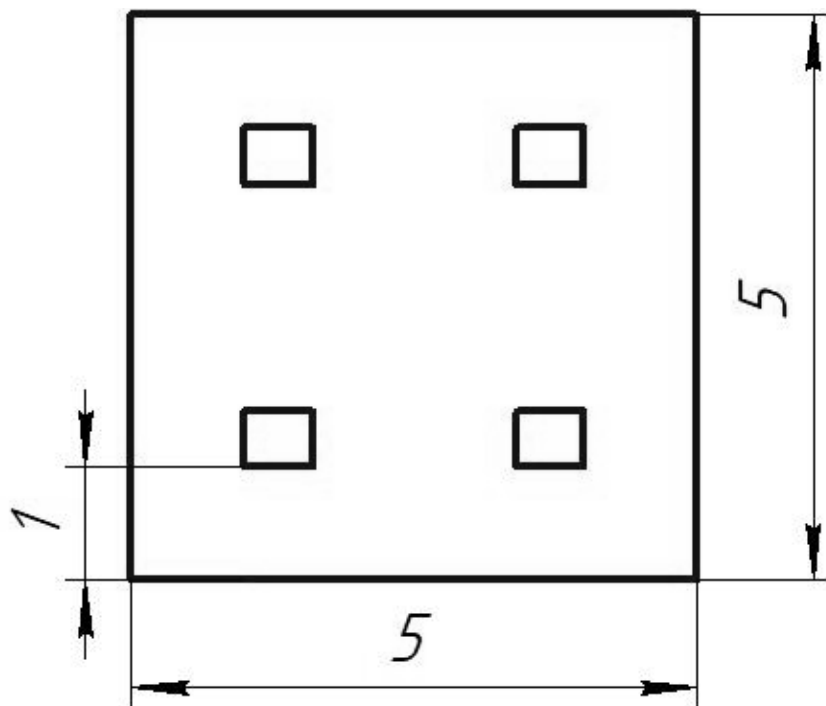


Рисунок 42 - Схема освещения

### **5.3 Экологическая безопасность.**

Технологический процесс фрикционной перемешивающей обработки не оказывает влияния на гидросферу и атмосферу, однако в процессе исследования применяется мелкодисперсный порошок титана, который при неправильной транспортировке и использовании может нанести вред организму.

Образцы для исследований представляют собой листовой материал сплавов АК9, АК12, для внедрения в данные образцы порошка титана, необходимо подготовить ряд отверстий в процессе получения которых получается малое количество отходов (металлической стружки), которые собираются и транспортируются для переработки и повторного использования. Далее для подготовки образцов используется электроэрозионный станок, в процессе работы которого образуются жидкие промышленные отходы, которые собираются в специальные ёмкости, далее утилизируются в соответствии с требованиями «Правил охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации».

### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации можно разделить на три основные группы:

- ЧС техногенного характера (пожары, взрывы, обрушение зданий, различные выбросы РВ, БОВ, АХОВ (радиоактивных веществ, биологически опасных веществ, аварийно химических веществ) и т.д.);
- ЧС природного характера (геофизические – землетрясения, извержения вулканов; метеорологические – бури, ураганы, смерчи; гидрологические – цунами, половодье и т.д.; природные пожары);
- ЧС экологического характера (эрозия, опустынивание, разрушение озонового слоя, загрязнение водной среды).

Перед началом работы в лаборатории с каждым сотрудником производится инструктаж по технике безопасности, оказанием первичной медицинской помощи с фиксацией в соответствующих журналах.

Наиболее вероятным ЧС является возникновение пожара при несоблюдении норм пожарной безопасности или вследствие короткого замыкания. С целью предупредительных мероприятий по противодействию данной ЧС лаборатория оснащена планом эвакуации, датчиками задымленности и системой оповещения о пожаре.



Рисунок 43 – план эвакуации

### **Заключение по разделу социальная ответственность**

В данном разделе была рассмотрена социальная ответственность по исследовательскому проекту на тему: Модификация структуры алюминиево-кремниевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки, в том числе с внедрением порошковых частиц титана.

При выполнении исследовательской работы в лабораторных условиях существует вероятность воздействия следующих вредных производственных факторов: недостаточная освещенность и недостаток естественного света на рабочем месте; отклонение показателей микроклимата; вероятность поражения электрическим током; движущиеся элементы машин и механизмов; повышенный уровень шума.

Лаборатория отвечает всем требованиям для обеспечения безопасности, а именно: проводятся инструктажи по ТБ; выдаются средства индивидуальной защиты (наушники); на рабочих местах производится периодический контроль светового потока; ко всем токоведущим частям электрооборудования ограничен доступ; присутствует заземление; все шумное оборудование располагается в индивидуальных помещениях или изолировано перегородками.

### Список публикаций

1. Индоиту Д.В., Гусарова А.В., Зыкова А.П., Калашникова Т.А., Чумаевский А.В., Гурьянов Д.А., Белобородов В.А. Закономерности фрикционной перемешивающей обработки литейного алюминиевого сплава AlSi12 // Institute of Strength Physics and Materials Sciences, SB RAS, 2/4 Akademicheskii Ave., Tomsk, 634055, Russian Federation.
2. Доклад, представленный на XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 27-30 Апреля 2021 года).

### Список использованных источников

- 1) Mishra, RS; Ma, З.Ы. Сварка трением и обработка с перемешиванием. Матер. Sci. Англ. R Отчеты 2005 г., 50, 1-78 [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X05000768?via%3Dihub>
- 2) Ma, З.Й. Технология обработки трением с перемешиванием: обзор. Металл. Матер. Пер. А2008 г., 39, 642-658. [Электронный ресурс]. Режим доступа.: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-007-9459-0>
- 3) Padhy G K, Wu C S, Gao S. 2018 Journ. Mat. Sci. Tech. **34** 1-38. [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://www.jmst.org/EN/abstract/abstract26366.shtml>
- 4) Yuvaraj N, Aravindan S, Vipin 2015 Journ. of Mat. Res.Tech. 4 398-410.
- 5) Zyкова А Р, Tarasov S Y, Chumaevskiy A V, Kolubaev E A. 2020 Metals **10** 1-35.
- 6) Модификация поверхности обработкой твердого тела [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://www.sciencedirect.com/book/9780857094681/surface-modification-by-solid-state-processing#book-info>
- 7) Обработка трением с перемешиванием (ОТП) и сверхпластичность [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://lettersonmaterials.com/Upload/Journals/793/246-2521.pdf>
- 8) Li, K.; Лю, X.; Чжао Ю. Состояние исследований и перспективы технологии обработки трением с перемешиванием. Покрытия 2019, 9, 129. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/2/129>;
- 9) Тарасов С.Ю.; Рубцов, В.Е.; Фортуна, SV; Елисеев, А.А.; Чумаевский, А.В.; Калашникова Т.А.; Колубаев Е.А. Старение с помощью ультразвука при сварке трением с перемешиванием алюминиевого сплава Al-Cu-Li-Mg.



Сварка. Мир 2017, 61, 679-690 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40194-017-0447-8>

10) Калашников К.Н.; Тарасов С.Ю.; Чумаевский А.В.; Фортуна, SV; Елисеев А.А.; Иванов А.Н. К старению в многопроходном трении с перемешиванием AA2024. Int. j. Adv. Manuf. Technol. 2019, 103, 2121-2132 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-019-03631-3>

11) Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству / В.Н. Иванов. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2001. – 464 с. – ISBN-5-217-03047-X.

12) Модифицирование и комплексная обработка силуминов: учеб. пособие / К.В. Никитин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 92 с.: ил.

13) Добаткин В.И. Слитки алюминиевых сплавов. - М: Металлургиздат.-1960г.-175 с.

14) Елагин В.И. Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами. - М:Металлургия.-1975г.-248 с.

15) Мошняков М.Г., Быкова Н.В. Физическое моделирование упрочнения алюминиевого сплава Д16 // 16 Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. статей. - Самара.-с192-194.

16) Сипунов С. В. Материаловедение. - М: Лань.- 2015. – 202 с.

17) Рыжонков Д. И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы.- М:Бином.-2012г.-368 с.

18) Старение литейных алюминиевых сплавов. Основные виды термической обработки. [Электронный источник]. Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/36/5.html>

19) Новое в технологии получения материалов/под ред. Ю.А. Осипяна и А. Хауфа. - М:Машиностроение.-1990-448с.

20) Новое в технологии получения материалов/под ред. Ю.А. Осипяна и А. Хауфа. - М:Машиностроение.-1990-448с.

- 21) Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. - М: Машиностроение. - 1989-480с.
- 22) Миркин Л.И. Физические основы обработки материалов лучами лазера.- М:Изд-во МГУ.-1975-383с.
- 23) Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками /под ред. Дж. Поута, Г. Фоти и Д. Джекобсона. - М.: Машиностроение. - 1987. – 424с.
- 24) Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/ Рыкалина Н.Н., Углова А.А. Зуева Н.В., Кокора А.Н.-М.:Машиностроение.- 1985-486с.
- 25) Гньюсов С.Ф. Электронный луч в формировании неравновесных структур.- Томск: Изд-во ТПУ.-2012-115с.
- 26) Будкер Г.И., Салимов Р.А. и др. Ускоритель заряженных частиц. Авторское свидетельство №589698
- 27) Производство черных и цветных металлов и сплавов. [Электронный источник]. Режим доступа: [http://engineeringsystems.ru/procesi-proizvodstva-  
chernih-i-cvetnih-metaliv-i-ih-splavov/elektronno-luchevaya-  
obrabotka.php](http://engineeringsystems.ru/procesi-proizvodstva-chernih-i-cvetnih-metaliv-i-ih-splavov/elektronno-luchevaya-obrabotka.php)
- 28) Цветные металлы и сплавы: учебное пособие / Т.В. Мальцева, Н.Н. Озерец, А.В. Левина, Е.А. Ишина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. 2019, 44, 176с.
- 29) Алюминиевый литейный сплав АК9 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://evek.org/materials/splav-ak9-al4v.html>
- 30) Алюминиевый литейный сплав АК12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://evek.org/materials/splav-ak12-al2.html>
- 31) Электроэрозионный станок [Электронный источник]. Режим доступа: [https://www.chinawedm.com/high-speed-wedm/high-efficiency-fast-wire-cutting-  
dk7750.html](https://www.chinawedm.com/high-speed-wedm/high-efficiency-fast-wire-cutting-dk7750.html)
- 32) Установка сварки трением с перемешиванием с ультразвуковым воздействием [Электронный источник]. Режим доступа: <https://www.sespel.com/news/article/svarochnaya-ustanovka/>

- 33) Металлографический микроскоп [Электронный источник]. Режим доступа: [https://altami.ru/microscopes/metallurgical/digi/altami\\_met1s/](https://altami.ru/microscopes/metallurgical/digi/altami_met1s/)
- 34) универсальная испытательная машина (разрывная машина) [Электронный источник]. Режим доступа: <https://test-systems.ru/produkcija/universalnye-ispytatelnye-mashiny/110m/uts-110m-50-0u>
- 35) ГОСТ 1497-84 Межгосударственный стандарт. Металлы. Методы испытаний на растяжение. Термины и определения: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 16.07.84: дата введения 1986-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004888> (дата обращения: 24.02.2021). – Текст: электронный.
- 36) Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
- 37) Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с.
- 38) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 39) СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- 40) СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 41) СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
- 42) СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 43) «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 21.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 20.04.2021)

44) ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы».

## Приложение А

### Investigation of the mechanical characteristics of the obtained samples

Студент

Группа	Ф.И.О.	Подпись	Дата
4АМ9К	Индоиту Данила Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
гл. н.с.	Тарасов Сергей Юльевич	Д.Т.Н. профессор ОМ		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Шайкина Ольга Игоревна			

## Research of the mechanical characteristics of the obtained samples

An experimental study of the mechanical characteristics was carried out at the "Institute of Strength Physics and Materials Science". A series of experiments included tests of rectangular-section specimens for static tension conditions, specimen cross-section 2.5 mm. Tensile tests were carried out on a YTC-110M universal tensile testing machine. During the tests, a tensile diagram was recorded including the determination of the ultimate tensile strength  $\sigma_B$ , the conditional yield stress  $\sigma_{0,2}$  and the relative elongation after breaking  $\delta$ .

The influence of the FSP modes, the type of the tool used, as well as the influence of the titanium powder content in the treatment zone was evaluated according to the following mechanical characteristics:

- temporary resistance  $\sigma_B$ , MPa;
- conditional yield point  $\sigma_{0,2}$ , MPa;
- relative elongation after breaking  $\delta$ , %.

The obtained diagrams of dependences "stress-strain" of the samples after processing on the right with AK12 are presented in the form of picture 30 34:

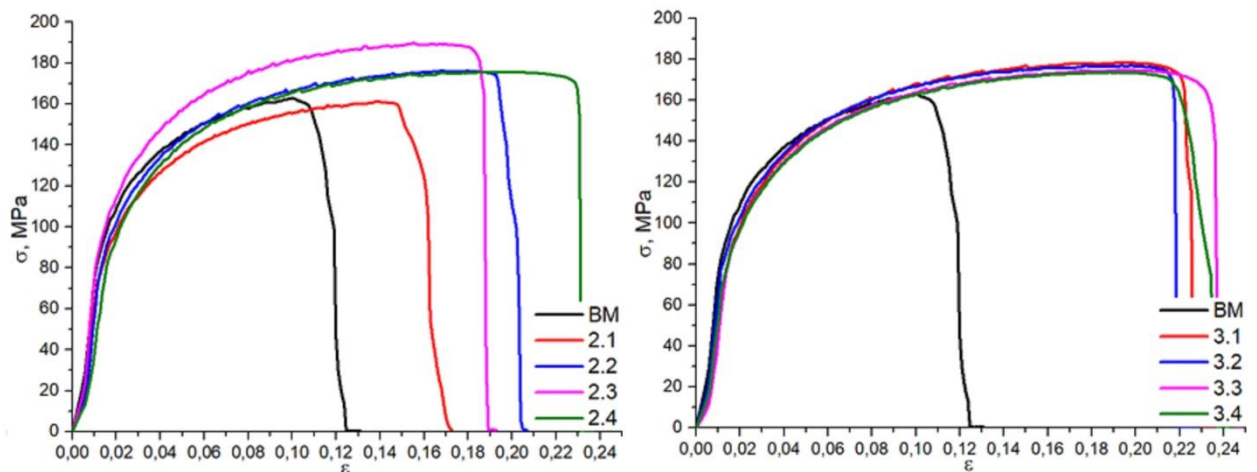


Figure 30 - Alloy AK12 processed by modes 2 and 3

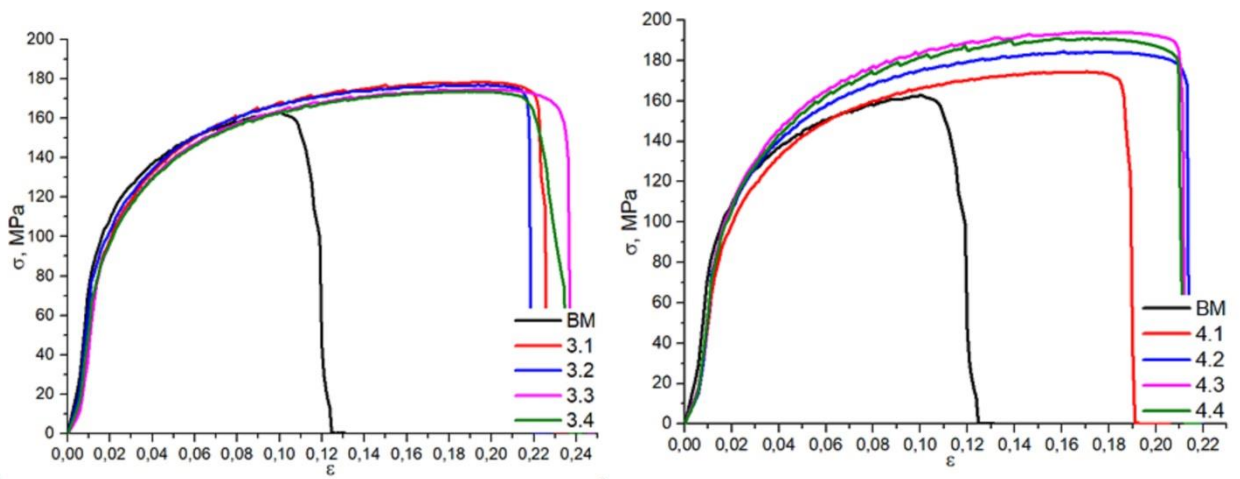


Figure 31 - Alloy AK12 processed by modes 3 and 4

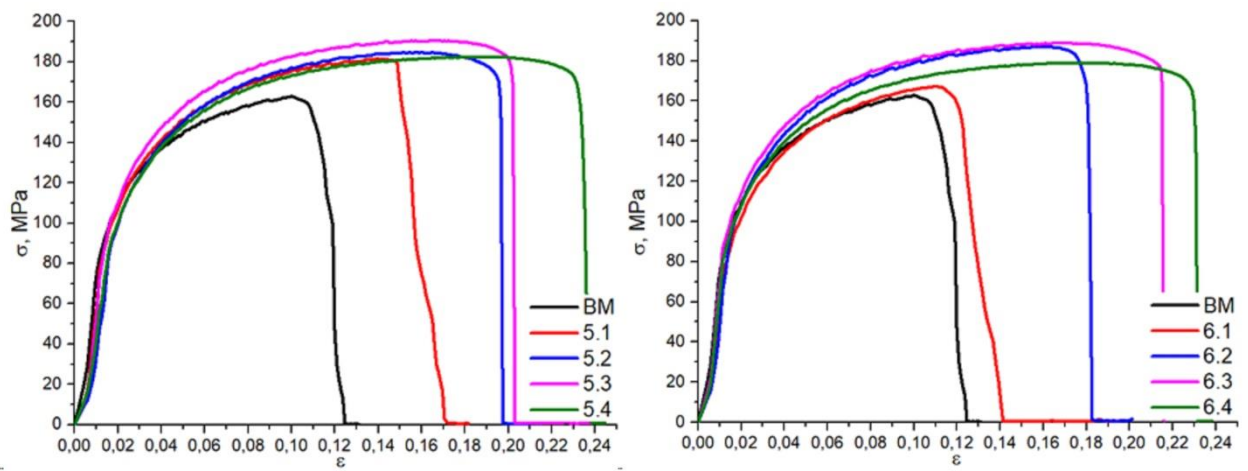


Figure 32 - Alloy AK12 processed by modes 5 and 6

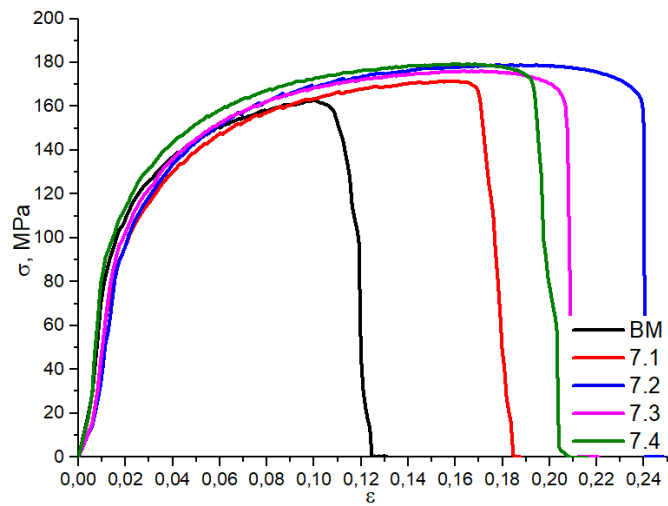


Figure 33 - Alloy AK12 processed in 7 mode

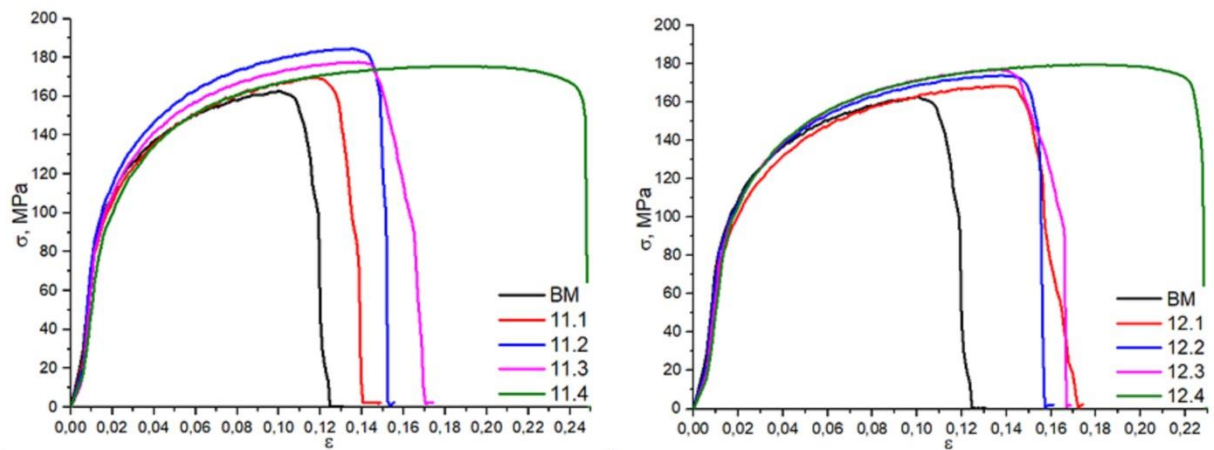


Figure 34 - Alloy AK12 processed with a square tool  
in 11 and 12 modes

After analyzing the diagrams obtained, the following can be established:

The deformation has an elastic part that smoothly passes into the stage of plastic flow, into the stage of destruction, which occurs mainly simultaneously when the ultimate strength is reached. In the samples, after 3-4 passes, a small stage appears with a smoothly decreasing loading force, which indicates an increase in plasticity in the material and necking before fracture. The plasticity of the obtained samples increases up to 2.5 times. In this case, the tensile strength does not increase significantly, no more than 9 - 10% in comparison with the base metal.

Next, we present the diagrams of stress-strain dependences of the samples after treatment with the introduction of 0.5% ÷ 5% titanium powder ITM-2 into the AK12 alloy, presented in the form of figures 35 37:

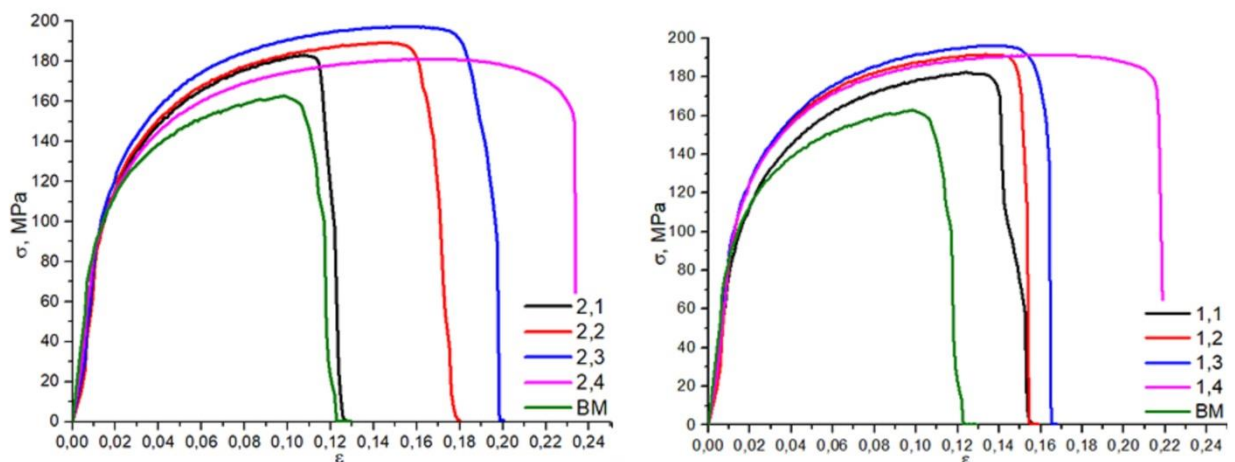




Figure 35 - Alloy AK12 with the introduction of 0.5 and 1.0% titanium powder

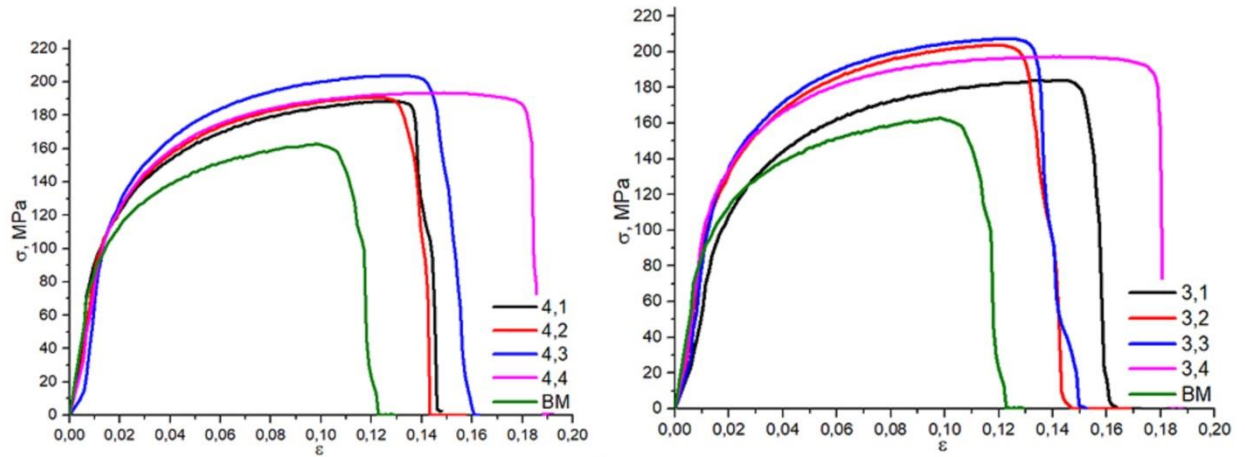


Figure 36 - Alloy AK12 with the introduction of 1.5 and 2.0% titanium powder

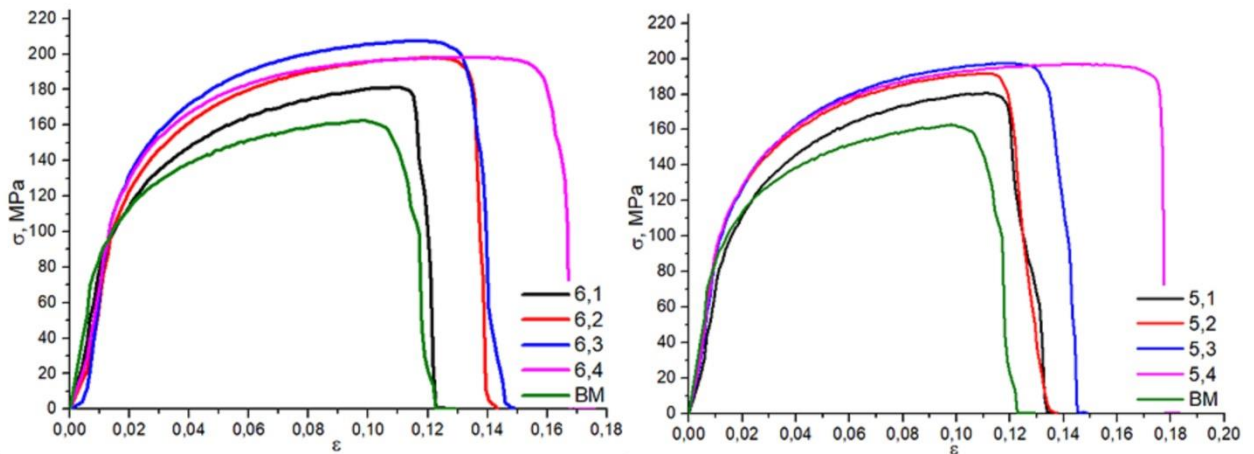


Figure 37 - Alloy AK12 with the introduction of 2.5 and 5.0% titanium powder

The plasticity of the sample with the introduction of 0.5% titanium powder during four-pass processing increases by 2 times, a further increase in the % content of titanium powder particles in the processing zone negatively affects the increase in plasticity (the higher the % titanium powder content, the less the plasticity increases during the FSP process). In this case, the tensile strength increases to 30% (samples 3 (1% Ti) and 6 (2.5% Ti)).

Further in Figures 38 - 40 are presented diagrams of dependences "stress-strain" of samples after processing of the AK9 alloy.

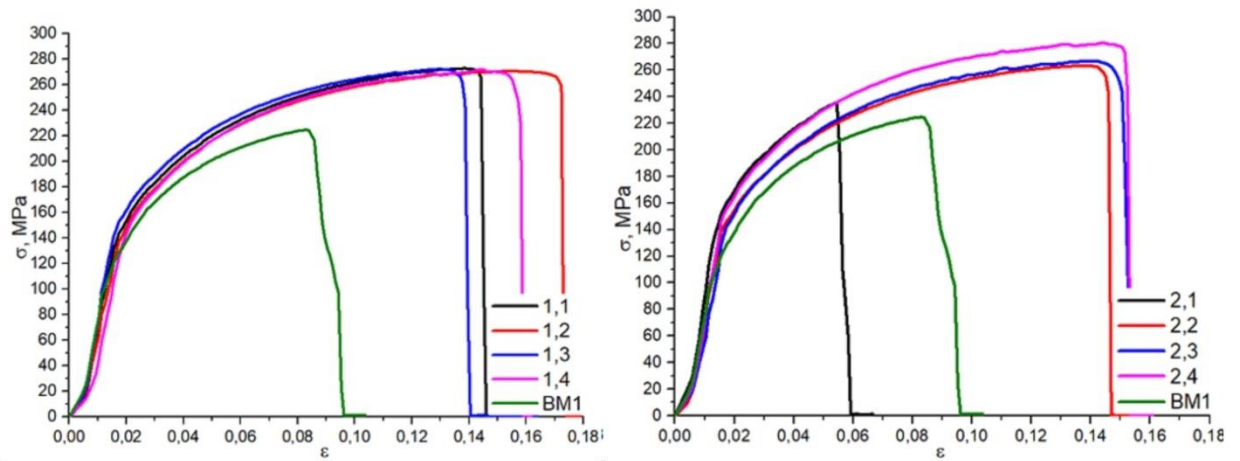


Figure 38 - Alloy AK9 processed by modes 1 and 2

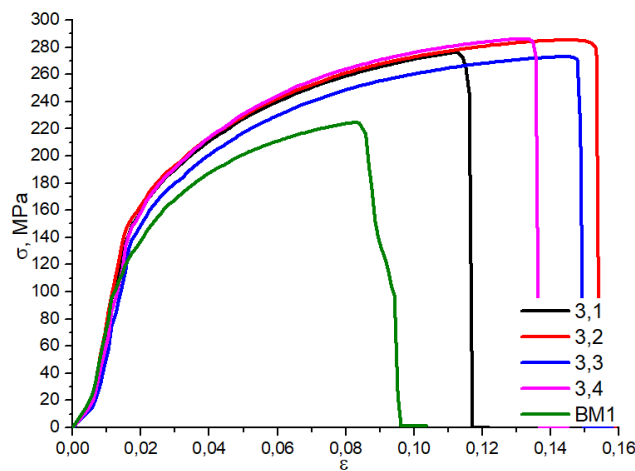


Figure 39 - Alloy AK9 processed in 3 mode

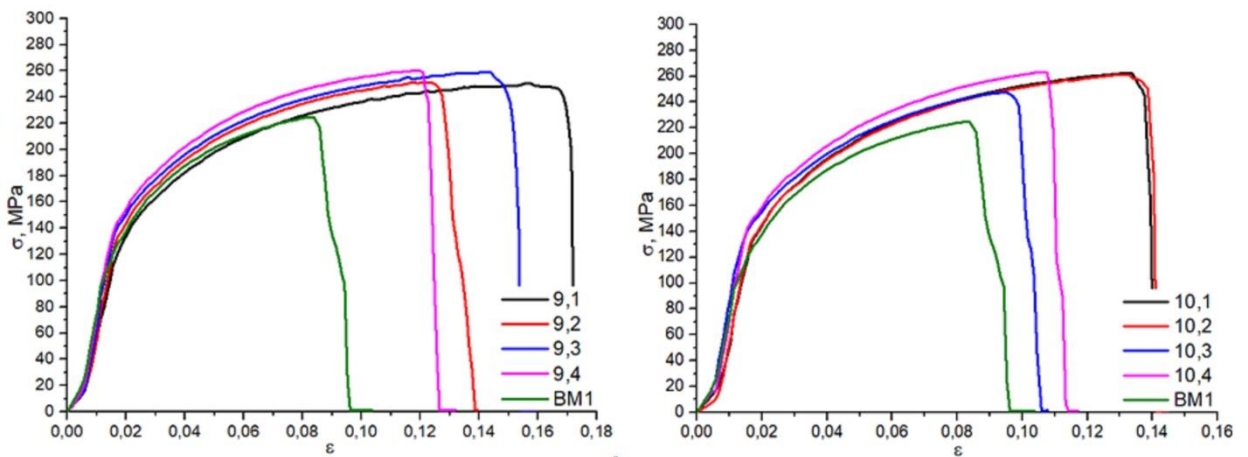


Figure 40 - Alloy AK9 processed with a square tool  
in 9 and 10 modes

From the data obtained, it can be concluded that the plasticity of the obtained samples increases up to 2 times (sample 1), samples 9 and 10 showed a 15% increase in plasticity. Tensile strength increased by 25% (sample 9) and 35% (sample 3) in comparison with the base metal.

### **3. Discussion of research results**

#### **3.1 Discussion of the results of the study of structural characteristics**

In the course of laboratory research, it was revealed that in the stir zone there is a change in the initial structure of the material, there is an active grinding of the elongated silicon particles. The starting material has a coarse dendritic structure. After single-pass processing, the shape of the particles becomes close to equiaxed, the percentage change in the cross section of the particles is up to 40%, the average grain size for the AK12 alloy was: 4.978  $\mu\text{m}$ ; for AK9 alloy: 3.061  $\mu\text{m}$ . Further, after the second and third passes, the size is refined with a lower intensity, the average grain size for AK12 is: 4.575  $\mu\text{m}$ ; for AK9 alloy: 2.735  $\mu\text{m}$ . At the last stage, after four passes of the tool, the average particle size for AK12 is 4.221  $\mu\text{m}$ ; for AK9 it is 2.524  $\mu\text{m}$ . It can be assumed that after crushing by the first pass of elongated silicon particles in an aluminum matrix, at further stages crushing of particles already close to equiaxed is difficult, since the aluminum matrix has a significantly higher plasticity and lower hardness compared to silicon particles, which do not meet sufficient resistance to fracture and are crushed only by local shredding along the surface.

The original workpiece (before processing) included a large number of pores. During the experiments, it was noted that there are no pores in the friction stir zone. No defects, cracks or delamination were found in the structure of the friction stir zone.

### **3.2 Discussion of the results of the study of mechanical properties**

In the course of mechanical tests of specimens obtained by friction treatment with stirring, the features of the flow of plastic deformation were revealed depending on the processing modes. In the course of the study, it was found that the plasticity of samples exposed to FSP increases up to 2.4 times; The samples modified with titanium powder showed a similar increase in plasticity up to 2.4 times (sample with the addition of 0.5% titanium powder), with a further increase in the percentage of titanium in the processing zone, the plasticity decreases. The tensile strength of the original samples was 162.5 MPa, the FSP modified samples showed different changes in their characteristics, this is due to different processing modes. The minimum change in the tensile strength was  $\sim 12.5$  MPa, the maximum  $\sim 30$  MPa. When titanium powders are introduced into the treatment zone, the tensile strength of the samples increases to 20 MPa, in comparison with the samples treated by FSP. The sample with 0.5% Ti showed a slight increase in strength compared to the unmodified samples (an increase of about 2.5 MPa).

## **Conclusion**

In the course of the master's degree, a number of experimental studies were carried out on processing friction with stirring of alloys AK12 and AK9.

In the process of studying the effect of the FSP process on the mechanical properties and structural characteristics of the AK12 alloy, there was an increase in ductility up 2 times compared with the original cast structure, due to the grinding of silicon wafers during processing. When titanium powder particles were incorporated into the AK12 alloy during the FSP process, an increase in ultimate strength was revealed by up to 20% compared to the initial alloy. Friction stir processing of the AK9 aluminum alloy increases the strength of the alloy by up to 35%, and the ductility up to two times. Thus, FSP has a positive effect on the mechanical properties and structure of aluminum-silicon alloys, allowing at minimal cost to increase the mechanical and operational characteristics of finished products.

This work is the initial step for further research; further it is planned to determine the effect of FSP on the tribological characteristics of aluminum-silicon alloys, to obtain composites based on AK7, AK9 and AK12 alloys, including with the introduction of titanium, iron and nickel powder particles during processing.